Švietimo Ministerijos
Knygų Leidimo Komisijos leidinys

Ilgis Jankauskas

Prof. V. ČEPINSKIS

FIZIKOS PASKAITOS

II skyrius

SKYSČIAI ir DUJOS

(HIDRODINAMIKA ir AERODINAMIKA)



Kaunas :-: :- :-: :-: :-: :-: :-: :-: :-: :-: :-: :-: :-: :-: 1923

II. Skysčiai ir Dujos.

1. Bendra charakteristika kietų, skystų ir dujiškų kūnų.

Veikiančios fizinį kūną jėgos arba sujudina kūną, arba padaro jo fizinio stovio atmainą. Šita atmaina pirmiausia reiškiasi kūno tūrio ir formos, arba pavidalo, kitėjimu, vadinasi, kūno deformacija. Kiekviena deformacija būna priežastimi didesnio arba mažesnio vidujinio kūno įtempimo, kuris yra ne kas kita, kaip apsireiškimas vidujinių kūno jėgų, veikiančių tarp jo dalelių, arba molekulų. Mes kalbame apie elastingas kūno jėgas, arba apie kūno elastingumą, turėdami omeny vidujinį deformuojamo kūno įtempimą. Nustojus veikti išorinėms deformuojančioms jėgoms, elastingos kūno jėgos stengiasi atitaisyti pirmykštę jo formą ir pirmykštį tūrį. Jeigu kūnas tuojau, nustojus veikti išorinėms jėgoms, atitaiso savo pirmykštę formą ir tūrį, tai tokį kūną mes vadiname tobūlai elastingu. Jeigu nustojus veikti išorinėms jėgoms kūnas išlaiko suteiktą jam formą, tai tokį kūną mes vadiname tobūlai plastingu. Tikrenybėje nėra nei tobūlai elastingo, nei tobūlai plastingo kūno. Kiekvienas elastingas kūnas turi šiek tiek plastingumo, lygiai kaip ir daugumai plastingų kūnų reikia pripažinti šiek tiek elastingumo.

Fiziniai kūnai būna įvairių įvairiausių stovių, bet paprastame gyvenime dažniausiai mums tenka turėti darbo su trimis, vadinamaisiais pagrindiniais, fiziniais kūnų stoviais: kietu, skystu ir dujišku.

Norint pakeisti kieto kūno tūrį arba formą, reikalinga didelė pastanga. Mažós jėgós pakanka, kad pakeistum skysto kūno formą, kitaip sakant, kad pastūmėtum vienus skysto kūno sluogsnius kitų atžvilgiu. Skysti kūnai teka, vadinasi, pasiduoda mažiausiai išorinei jėgai. Tobūlais skysčiais mes vadiname tokius, kurie pasiduoda kiekvienai išorinei jėgai. Bet ir skystiesiems kūnams reikia didelės pastangós, kad pakeistum šiek tiek jų tūrį. Taigi paprastomis aplinkybėmis kieti kūnai pasižymi tam tikra savo forma ir tam tikru tūriu. Skysti kūnai paprastomis aplinkybėmis pasižymi tam tikru tūriu, bet neturi savo formos, kaip tai matyti iš to, kad tam tikras vandens tūris be jokių sunkenybių gali laikytis įvairiausių formų induose.

Dujos, kaip štai oras, lygiai kaip ir skysčiai, neturi savo formos, bet jos pasiduoda mažiausiai jėgai, kuri stengiasi pakeisti jų tūrį. Maža to, dujų negalima išlaikyti atidarame inde, nes jos visuomet stengiasi užimti kuo didžiausį tūrį. Taigi dujos neturi nei savo formos, nei savo tūrio. Kadangi lengva suspausti dujos arba sumažinti jų tūris, tai dažnai dujos vadinamos gniužiais skysčiais, o tikrieji skysčiai — negniužiais skysčiais.

Kietų kūnų forma pareina nuo jų vidujinių jėgų, veikiančių tarp jų molekulų ir, palyginti, labai maža dalimi pareina nuo išorinių jėgų. Jeigu kietas kūnas turi kokią nors taisyklingą formą, tai mes jį vadiname krištolu. Būna ir taip, kad kūnas iš oro nerodo jokios taisyklingos formos, bet skaldosi į taisyklingos formos gabalėlius, į didesnius arba mažesnius krištolus. Tokie kūnai vadinasi krištoliniai kūnai. Jų krištoliška forma, kaip jau pasakyta, pirmiausia pareina nuo jėgų, veikiančių tarp jų molekulų, ir net nuo vidujinių molekulos jėgų, būtent, nuo jėgų, veikiančių tarp atomų.

Tokie kūnai, kurie ir iš oro neturi taisyklingos formos ir kurie skaldomi subira į netaisyklingos formos gabalėlius, vadinasi amorfiniai kūnai. Krištolinių kūnų pavyzdžiai: akmens druska, kalnų krištolas, ledas ir t.t., iš oro jų forma gali būti labai chaotiška, bet skaldomi jie subirės į krištolus tam tikros formos, kaip antai: akmens druska į šeštainius (kūbelius), ledas į heksagoniškas (šešiabriaunes) prizmas

su piramidomis ant galų. Mokslas apie įvairias taisyklingas kietų kūnų formas vadinasi kristalografija.

Amorfinis gi kūnas, kaip antai stiklas, gali net ir turėti iš oro taisyklingą formą, pavyzdžiui, šeštainio arba kokią nors kitą formą. Bet skaldomas toks amorfinis kūnas visuomet subirės į įvairių įvairiausių chaotiškų formų trupinėlius.

Jeigu kieto kūno savybės, arba fizinės ypatybės, nepareina nuo linkmės, tai tokie kūnai vadinasi izotropiniai. Pavyzdys: stiklas paprastomis aplinkybėmis. Stiklo stiprumas, jo elastingumas, jo šviesos laužymas ir t.t. bus tie patys, ar mes bandysime stiklą šitais atžvilgiais išilgai, skersai ar kita kuria linkme. Bet yra kūnų, kurių fizinės savybės pareina nuo linkmės, kuria mes tą savybę bandysime. Tokie kūnai vadinasi anizotropiniai. Pavyzdys: medis, kuris yra pluoštinės struktūros ir kurio stiprumas išilgai pluoštų ir skersai pluoštų nevienodas. Dar charakteringesnį pavyzdį duoda krištolai. Jų stiprumas, elastingumas, o ypatingai elektros ir optikos savybės būna nevienodos; išilgai, sakysime, jų didžiausios simetrijos ašies ir skersai. Kalbėdami apie izotropinius ir apie anizotropinius kūnus, mes ir turime pirmiausia omeny jų elektrooptines savybes, tų savybių pareinamumą nuo linkmės.

Iš to fakto, kad paprastomis aplinkybėmis skysčiai neturi savo formos, išeina, kad jėgos, veikiančios tarp skystų kūnų molekulų, yra žymiai silpnesnės negu jėgos, veikiančios tarp kietų kūnų molekulų. Paprastomis aplinkybėmis skystų kūnų forma pareina ne tiek nuo jų vidujinių jėgų, kiek nuo išorinių jėgų, ir pirmiausia nuo tos jėgos, kurios įtakoje yra visi be išimties fiziniai kūnai ant žemės, būtent, žemės traukos jėgos, arba svorio. Bet vidujinės skystų kūnų jėgos vis delto yra šiokio tokio didumo — tas jėgas mes vadiname kohezijos jėgomis, ir jos turi apsireikšti tam tikra skysto kūno forma, jeigu išvaduotum skystą kūną nuo išorinių jėgų įtakos ir pirmiausia paliuosuotum jį nuo veikimo svorio jėgos. Pavyzdžiui, mažos vandens masės visuomet įgyja rutuliukų (lašų) formą, taip pat ir gyvasai sidabras, jei jo labai nedaug, įgyja rutulio formą. Vadinasi, mažėjant svorio jėgai, vidujinės jėgos veikia nesuvaržytos ir tuojau suteikia vandeniui, gyvajam sidabrui ir kitiems skysčiams rutulio formą. Dar ryškiau galima demonstruoti šitas vidujinių skysto kūno jėgų veikimas tokiu bandymu, kurs vadinasi «Plateau bandymas», nes prancūzas Plateau pirmutinis jį padarė.

Reikia pagaminti mišinys iš vandens ir spirito keturkampiame didesniame stiklo inde, tokio palyginamojo svorio, kaip Provanso aliejaus palyginamasai svoris, kas lengva padaryti, nes Provanso aliejus yra lengvesnis už vandenį ir sunkesnis už spiritą. Kaip mes vėliau pamatysime, Provanso aliejus, įleistas į tokį vandens ir spirito mišinį, visiškai nustoja svorio (Archimedo dėsnis). Todel pilant Provanso aliejų į šitą mišinį, didesniam inde galima gauti gražus didelis aliejaus rutulys. Vadinasi, būdamas savo vidujinių jėgų įtakoje, skystas aliejus tuojau įgyja rutulio formą. Panašiomis aplinkybėmis taip pat elgiasi ir visi kiti skysčiai, būtent, visi skysčiai, atpalaiduoti nuo išorinių jėgų veikimo, įgyja rutulio formą, kuri pasižymi tuo, kad, tūriui esant tam tikro didumo, ji turi minimališką paviršių.

Antra vertus, ir kietieji kūnai galingų išorinių jėgų įtakoje darosi panašūs į skysčius, ima net tekėti, kaip antai švino cilinderis, įdėtas į plieno cilinderį su skyle ir smarkiai spaudžiamas. Iš plieno cilinderio skylės teka švino srovė. Milžiniškas kietų kūnų tekėjimo pavyzdys yra gletčerai, ledo upės, kurios susidaro ant augštų kalnų ir kurios taip pat teka nuo kalnų žemyn, kaip skystas vanduo, tiktai žymiai lėčiau. Taigi, tarp kietų kūnų ir skystų kūnų nėra griežtos ribos. Labai greita vandens srovė gali perpjauti akmenį, lygiai kaip ir smarkiai sukamas vanduo būna visiškai panašus į kietą kūną. Žodžiu sakant, gamtoje tarp kietų ir skystų kūnų yra visa eilė pereinamųjų stovių. Paprasčiausias tokio pereinamojo stovio pavyzdys tai biralai: smėlys, grūdai ir t. t. Biralai susideda iš kietų dalelių, bet jie daug lengviau pasiduoda išorinei jėgai negu dideli kieti kūnai ir, nelyginant kaip skysčiai, gali tekėti. Smėlys teka nuo stataus kalno kaip vanduo, bet sustoja ant nuožulnios plokštės. Ant tokios plokštės svorio jėga negali pergalėti trynimo jėgos tarp smėlio dalelių. Jeigu smėlį sušlapinsim, tai jis tekės ir nuo nuožulnios plokštės.

nes dabar trynimo jėga tarp jo dalelių bus žymiai mažesnė. Tobūluose skysčiuose toji trynimo jėga yra lygi nuliui; realiuose skysčiuose ta jėga būna didesnė arba mažesnė, ir mes tada kalbame apie skysčių klampumą. Vadinasi, kad imtų tekėti realūs skysčiai, pavyzdžiui vanduo, išorinė jėga turi pasiekti tam tikro didumo, nors ji gali būti ir labai maža. Vanduo yra klampokas ir todel jis teka mažós jėgós įtakoje, bet glicerino arba medaus klampumas, kitaip sakant, trynimo jėgos tarp jų dalelių, žymiai didesnis už vandens klampumą ir todel iš vienos pusės glicerinas arba medus reikalingi didesnės jėgos, kad imtų tekėti, o iš kitos pusės jie greičiau ir sustoja tekėję ant nuožulnios plokštės.

Kadangi paprastomis aplinkybėmis skysčiai nerodo savo formos, vadinasi, išorinių jėgų įtakoje įgyja bet kokią formą, tai visi skysčiai yra vadinami tobūlai plastingais kūnais.

2 §. Kietų kūnų elastingumas, stiprumas ir kietumas.

Praktikos atžvilgiu turi didelės reikšmės kietų kūnų, ypač statomosios medžiagos, stiprumas. Dažniausiai mes kalbame apie stiprumą ištempimo arba suspaudimo atžvilgiu, ir **absolutiniu** medžiagos stiprumu vadiname tą jėgą, kuri reikalinga pertraukti vielai vieno kvadratinio milimetro skerskrodžio, kitaip sakant, pasipriešinimą pertraukimui, išreikštą kilogramais ant vieno kvadratinio milimetro skerskrodžio ploto. Tasai pasipriešinimas visiškai nepareina nuo vielos arba stiebo ilgio ir yra proporcingas skerskrodžio plotui. Pavyzdžiui, švino stiprumas ištempimo atžvilgiu bus 2,1, aukso 27, sidabro 29, platinos 30, vario 40, geležies 61, plieno 80 ir t.t. Vadinasi, norint pertraukti švino vielą vieno kvadratinio milimetro skerskrodžio ploto, reikia 2,1 kilogramo, o kad nutrauktum tokio pat ploto plieno vielą, reikia 80 kilogramų. Tasai stiprumas pareina ne tik nuo médžiagos, bet ir nuo jos struktūros. Pavyzdžiui, užgrūdyta plieno vielà yra stipresnė negu atleista. Taip pat medžiagos kaitinimas mažina stiprumą.

Yra kalbama dar apie relatyvų stiprumą, arba apie stiprumą sulenkimo atžvilgiu. Tai bus jėga, išreikšta kilogramais, reikalinga kūnui perlaužti lenkiant. Ta jėga pareina nuo kūno ilgio, jo skerskrodžio ploto, nuo to skersrodžio formos, nuo būdo, kuriuo yra paremtas kūnas, ir pagaliau nuo jėgos veikimo būdo. Čia apsireiškia įdomus faktas, kad tušti balkiai (sijos) ir vamzdžiai pasirodo stipresni negu masingi balkiai ir stiebai.

Sukdami vieną dalį kūno kitós dalies atžvilgiu, arba net ir tempdami tangencialiai (skersai), sakysime, viršutinę kūno dalį, kada žemutinė dalis yra kietai pritraukta prie paramos, mes priverčiame pasistūmėti arba šliaužti vienų sluogsnių kūno daleles kitų atžvilgiu ir susiduriame su tam tikru elastingu kūno jėgų pasipriešinimu, kuris šiuo atveju vadinasi kūno stiprumas sukant, t. y., sukimo atžvilgiu, arba, paprastai, — kūno kietumas. Dažnai kūno kietumu esti vadinamas pasipriešinimas įsiskverbimui, bet ir čia, sakysime, varydami vinį į kūną arba kirpdami kūną žirklėmis, mes turime dalyką su pasistūmimu vieno kūno dalelių sluogsnio kito kūno atžvilgiu.

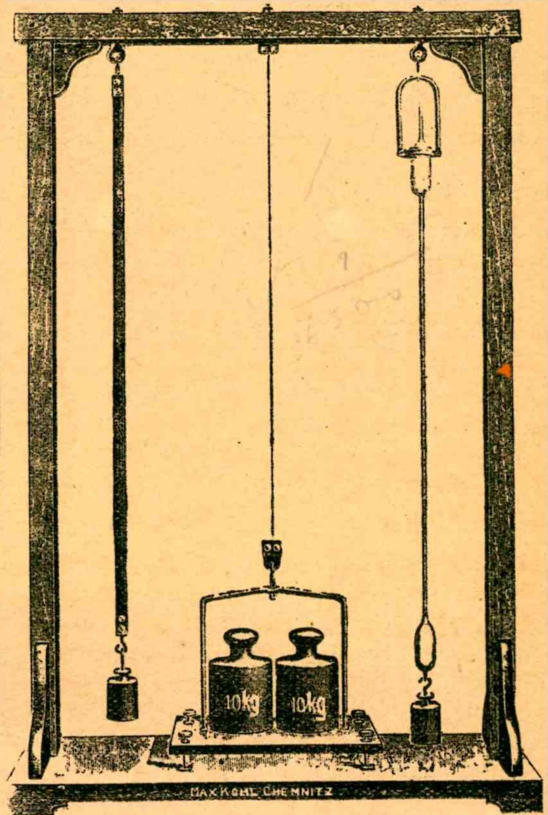
Apie mineralų kietumą mes dažnai sprendžiame iš lengvumo arba sunkumo, kuriuo vienas kietas kūnas gali įdrėksti kito kieto kūno paviršių. Tam reikalui yra vartojama vadinamoji kietumo skala, kurioje kiekvienas tolesnis mineralas yra kietesnis už pirma jo einantį ir kur kietumas pažymėtas sauvališkai paimtais iš eilės skaitmenimis. štai šita skala: 1 — talkas, 2 — gipsas (mielas), 3 — kalkių špatas, 4 — lydimo špatas, 5 — apatitas, 6 — lauko špatas, 7 — putnagas (kvarcas), 8 — topazas, 9 — korundas ir 10 — diemantas. Minkščiausias iš tų kūnų yra talkas, o kiečiausias — diemantas. Jeigu prieš pertraukiamas arba sulaužomas kūnas deformuojasi, tai toks kūnas vadinasi ištempiamas, lankstus, kalus, arba kalamas (lengvas kalti). Jeigu kūnai sulūžta arba subira nesideformuodami, tai tokie kūnai vadinasi trapūs. Dažniausiai kieti būna trapūs, o minkšti — lankstūs.

Praktikos atžvilgiu ne tiek svarbu nustatyti absolutinis kūno stiprumas, kiek kūno elastingumo ribos. Mes jau kalbėjome apie tai, kad veikiant kūną išorinėms jėgoms, jame susidaro ypatingas įtempimo stovis, kurį mes vadiname kūno elastingumu, arba kūno elastingomis jėgomis, kurios didumo atžvilgiu tam tikrose ribose yra proporcingos išorinėms deformuojančioms jėgoms ir kiekvienu momentu stengiasi atstatyti pirmykštę kūno formą. Paprasčiausias atvejis elastingumo jėgų apsireiškimo bus tada, kada, priveržę sraigtiniais spaustuvais vieną galą metalinės vielos, mes tempsime ją, kabindami prie kito galo pásvarus. Tokius elastingumo jėgų bandymus darė XVII-jo šimtmečio pabaigoje Robertas Hook'as ir nustatė dėsnį, kuris lotyniškai skamba šitaip: «Ut **tensio sic vis**»; lietuviškai reiškia: «koks įtempimas — tokia jėga». Įtempimas čia bus juo didesnis, juo labiau bus pailgėjusi viela, o ji pailgės juo labiau — juo didesnė bus tempianti jėga, juo ilgesnė bus paimta viela ir juo mažesnis bus vielos skerskrodžio plotas. Pavyzdžiui, paėmus sidabro vielą vieno metro ilgio ir vieno kvadratinio milimetro skerskrodžio ploto ir prikabinus prie jos galo 1 kilogramo svorį, jos ilgis padidės 0,14 milimetro; paėmus vielą 2 metrų ilgio, pailgės jau 0,28 milmetro. Jeigu mes paimsime sidabro vielą 1 metro ilgio ir 2 kvadratinių milimetrų skerskrodžio ploto, tai, prikabinę prie jos galo 1 kilogramą, jąją pailginsime tik 0,07 milimetro. Tarytum dabar jėga 1 kilogramas veikia dvi vielas 1 metro ilgio ir 1 kvadratinio milimetro skerskrodžio ploto. Prikabinus prie sidabrinės vielos 1 metro ilgio ir 1 kvadratinio milimetro skerskrodžio ploto 10 kilogramų, jos ilgis padidės 1,4 milimetro. Taigi, remdamiesi šitais daviniais, mes galime parašyti šitokią lygtį: $l = k \cdot \frac{L \cdot P}{q}$. Čionai l (metrais) reiškia vielos pailgėjimą, L (metrais) vielos ilgį, q — vielos skerskrodžio plotą milimetrais, P — jėgą kilogramais ir k — tam tikras koeficientas, charakteringas paimtajai vielos medžiagai, kurį pavadinsime elastingumo koeficientu. Šita lygtis tiesiog išeina iš Hook'o dėsnio, bet ji veikia tik tam tikrose įtempimo, arba elastingumo, ribose. Pavyzdžiui, sidabrui šitas dėsnis veikia tik iki 10 kilogramų ir tik neperžengus šito dydžio, sidabro viela grįžta prie savo pirmykščio ilgio, nustojus veikti tempiančiai jėgai. Elastingumo koeficientas k, kaip matyti iš viršuj paduoto reiškinio, yra ne kas kita, kaip vieneto ilgio pailgėjimas, veikiant vienam kilogramui ant vieneto ploto (1 kv. centimetro). Paprastai tai yra mažas dydis, ir juo mažesnis, juo kūnas yra stipresnis. Todel fizikoje ir praktikoje dažniau vartojamas atvirkščias dydis, būtent: $\frac{1}{k} = E$, kuris vadinasi elastingumo modulis. Pavyzdžiui, sidabrui $k = \frac{1}{7300}$, o $E = 7300$. Iš paduotojo reiškinio eina, kad $\frac{P}{q} = \frac{1}{k} \cdot \frac{l}{L} = E \cdot \frac{l}{L}$. Iš čia $E = \frac{PL}{ql}$. Taigi elastingumo modulis bus toji jėga, išreikšta kilogramais ant kvadratinio milimetro ploto, kuri yra reikalinga tiek vielai ištempti, kad ji pailgėtų antra tiek ilgio, kiek buvo paimta. Praktikoje, žinoma, tai neatsiekiama, bet vis delto elastingumo modulis reikia taip suprasti. Labai dažnai elastingumo modulis ištempimui vadinasi Young'o modulis, ir tai konstantai duodamas ženklas «Y».

Surasti Young'o modulis įvairiai medžiagai galima tam tikru aparatu, atvaizduotu 1 piešiny. Aparatas susideda iš tvirtų medinių rėmų, kurių viršutinė skersinė yra aprūpinta spaustuvais — priveržti vieloms arba kabliais užkabinti įvairios formos ir įvairios medžiagos stiebams. Prie antrojo stiebo arba vielos galo prikabintas kablys pasvarui, užkabinti arba antrasis vielų galas įdedamas į spaustuvus su kabliu ir suspaudžiamas sraigtais, o ant kablio užkabinama medinė lėkštė arba medinė plotmė (t. y. platforma), ant kurios dedami pasvarai. Išilgai vielos dviejose vietose turi būti ženklai, bruožų arba, dar geriau, užmautų mažučių grindžių pavidalu. Padėjus ant plotmės tiek svorio, kad viela išsitiestų, katetometro pagalba nustatomas tolumas tarp abiejų ženklų, tikslumo iki šimtinės milimetro dalies. Tuo būdu surandamas pirmykštis ilgis (L). Uždėję ant lėkštės svorį P, mes vėl katetometru nustatome tolumą tarp abiejų ženklų. Iš pirmųjų dviejų ir paskutinių dviejų katetometro atskaitymų mes surasime l pailgėjimą. Reikia dar išmatuoti mikrometru vielos

diametras apskaityti škerskrodžio plotui q, ir tada iš reiškinio $E = \frac{PL}{ql}$ gausime Young'o modulį.

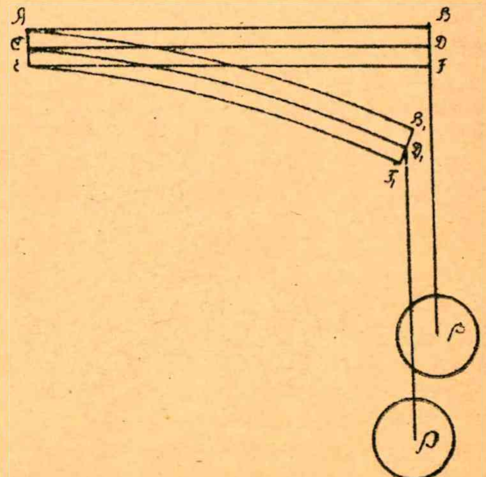
Spaudžiamo kūno sutrumpinimui mes turime tuos pačius santykius, ir stiprumas sutrumpinimo atžvilgiu niekuo nesiskiria nuo stiprumo ištempimo atžvilgiu. Iš visų kietų kūnų plienas turi didžiausį Young'o modulį, būtent, 21.000 — 22.000 Stiklui Young'o modulis 6.500.



Pieš. 1

Tempiamas kūnas ilgėja, o jo skerskrodžio plotas mažėja. Plonoms vieloms skerskrodžio ploto mažėjimas neturi jokios reikšmės, bet turint darbo su cilinderiais arba su keturkampiais stiebais — su skerskrodžio ploto mažėjimu tenka skaitytis. Tegu stiebo ilgio L pailgėjimas bus l, o jo diametro d sumažėjimas bus P, tad $\frac{P}{d} : \frac{l}{L} = \mu$. Šitas santykis vadinasi elastingumo skaičius, arba Poisson'o koeficientas. Tyrinėjant kietų kūnų deformaciją ir surištą su ja vidujinį kūnų įtempimą, šitas koeficientas turi didelės reikšmės. Jeigu deformuojamo kūno tūris nekinta, tai $\mu = {}^1/_2$, kaip antai kaučiukui. Daugumai kūnų $\mu = {}^1/_3 - {}^1/_5$.

Young'o modulis galima surasti ir iš kūnų sulenkimo (žiūr. 2 pieš.). Jeigu mes vieną stiebo galą kietai priveršime sraigtais tarp dviejų metalinių plokštelių, priveržtų prie sienos, o ant antro stiebo galo uždėsime arba pakabinsime svorį P kilogramų, tai stiebas sulinks, jo galas, ant kurio veikia svoris, paslinks žemyn s milimetrų nuo neitralinės gulsčios linijos. Viršutinė stiebo dalis bus išgaubta, vadinasi, pailgės ir bus įtempta ta prasme, kad stengsis sugrįžti prie pirmykščio ilgio. Apatinė dalis bus įgaubta, vadinasi, sutrumpinta, ir stengsis išsitiesti. Tarp tų dviejų dalių bus neutralinė zona, kurios ilgis bus be atmainos ir kurioje veiks normalinis įtempimas. Taigi lenkdami stiebą mes turime apsireiškimą vidujinio įtempimo tokios pat rūšies, kaip ir tempdami arba spaudimu trumpindami stiebus. Tik skirtumas bus čia tas, kad tasai vidujinis įtempimas pareis dar nuo skerskrodžio ploto didumo ir jo formos, be to, dar nuo stiebo priveržimo būdo arba nuo parėmimo būdo ir nuo jėgos veikimo būdo.


Pieš. 2

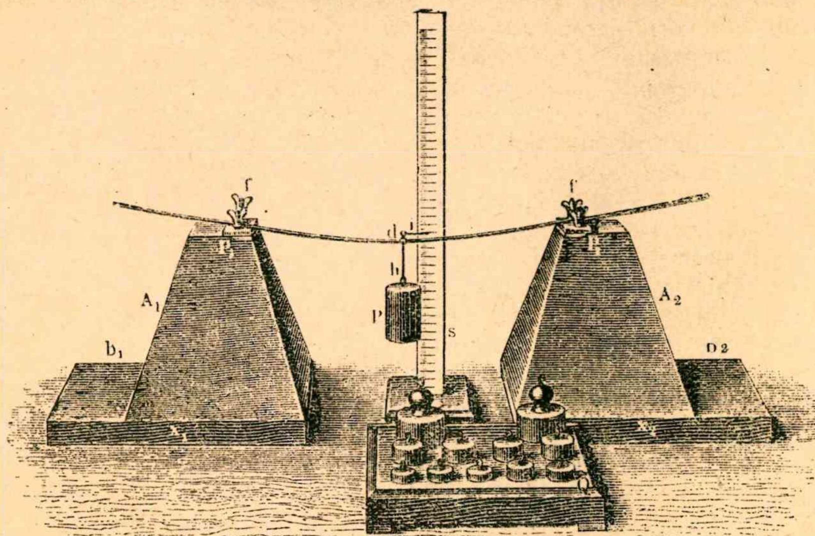
Pažymėsime raide s (milimetrais) palınkimą laisvo stiebo galo žemyn, raide l (milimetr.) stiebo ilgį, raidė q tam tikrą dydį, kuris pareina nuo skerskrodžio ploto

didumo ir jo formos; raide E — elastingumo modulį, raide P — jėgą klgr. ir pagalios raide k — tam tikrą koeficientą, — mes galime išreikšti santykius tarp visų šitų dydžių tokiu reiškiniu: $s = k \frac{P\ l^3}{12\ q\ E}$.

Jeigu stiebo skrodis turi rato formą, tai $q = \frac{\pi r^4}{4}$. Jeigu stiebo skrodžio forma yra tiesiakampis keturkampis, kurio šonas statinis veikiančiai jėgai b, o kitas šonas lygiagretis veikiančiai jėgai a, tad $q = \frac{a^3\ b}{12}$. Taigi keturkampiam stiebui mes turėsime reiškinį: $s = \frac{4\ l^3\ P}{a^3\ b\ E}$. Čia koeficijentas k bus lygus 4.

Jeigu keturkampis stiebas abiem savo galais uždėtas ant dviejų paramų (pav., ant dviejų mažų staliukų) taip, kad tolumas tarp paramų arba stiebo ilgis bus 1 milimetr., o svoris užkabintas ant stiebo vidurio, tai mes galime žiūrėti į tai, kaip į du stebus, kiekvienas $\frac{1}{2}$ l ilgio, kurie priveržti vienais galais ir ant kurių kitų galų veikia jėga $\frac{P}{2}$. Tad stiebo vidurio palinkimui žemyn mes turėsime $s = \frac{4}{E} \cdot \frac{P\ l^3}{16 a^3 b} = \frac{P\ l^3}{4 E\ a^3 b}$. Vadinasi, šitam atvejui koeficientas k bus $= \frac{1}{4}$. Dar gali būti trečias atvejis, kada abudu stiebo galai kietai priveržti sraigtais prie staliuko arba prie kurių nors kitų paramų, — tada koeficientas k bus $= \frac{1}{16}$. Iš čia išeina, kad santykiai tarp palinkimo žemyn stiebo galo pirmuoju atveju ir stiebo vidurio antruoju ir trečiuoju atveju, bus lygūs santykiams 64 : 4 : 1.

Iš šitų lygčių išeina sulenkimo dėsnis, būtent, kad palinkimas laisvo galo stiebo arba paremto abiem galais stiebo vidurio yra tiesiog proporcingas trečiajam laipsniui stiebo ilgio ir veikiančiai jėgai, ir atvirkščiai proporcingas stiebo platumui, trečiajam laipsniui stiebo storumo ir pagaliau elastingumo moduliui. Taigi turint visus tuos dydžius ir suradus palenkimą žemyn, kurį technikai vadina įlenkimo iešmu, galima apskaityti Young'o modulis. 3 piešinys atvaizduoja aparatą įlenkimo



Pieš. 3

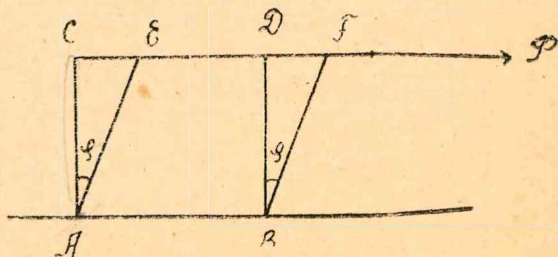
iešmui surasti. Tas aparatas susideda iš dviejų medinių su atkirstomis viršūnėmis piramidų, ant kurių viršūnių randasi po 2 metalines plokšteles P_1P_1, tarp kurių sraigtais f f galima suspausti stiebo galai arba vienas galas. Galima taipogi uždėti

stiebo galai ant abiejų plokštelių taip, kad su šituo aparatu galima išmatuoti įlenkimo iešmą visiems trims nurodytiems atvejams. Ant stiebo galo arba ant stiebo vidurio galima užmauti maušelis d su iešmute i ir kabliuku h, ant kurio galima užkabinti pasvaras p. Ties iešmute i statoma mastinė tiesyklė, padalyta į milimetrus, kuri duoda galimumo atskaityti stiebo galo arba vidurio palenkimą žemyn milimetrais. Kaip aparatas yra vartojamas, aišku iš piešinio.

Sulenkimas visuomet yra surištas su formos ir tūrio pakitėjimu. Jeigu norima turėti dalykas tik su tūrio pakitėjimu, tai reikia spausti kietas ar skystas kūnas iš visų pusių vienodai, pavyzdžiui, įdėjus geležinį mažą cilinderį į tūtą iš stipraus plieno tokio diametro, kad geležinis cilinderis galima įdėti į tą tūtą tik gerokai pasistengus, uždėjus ant to cilinderio kieto plieno sklandiklį ir spaudžiant hidrauliniu presu. Aprūpinę sklandiklį ir tūtą prietaisais, kuriais galima nustatyti geležinio cilinderio tūrio sumažėjimas, ir padarę reikalingas pataisas del tūtos tūrio padidėjimo del spaudimo priežasties, mes galime apskaityti, koks bus vieneto tūrio, sakysime, vieno kūbinio centimetro tūrio sumažėjimas, veikiant vienai dinai ant vieno kvadratinio centimetro ploto. Tuo būdu mes surastumėm tūrio elastingumo koeficientą. Išreikšdami spaudimą kilogramais ant 1 kvadratinio centimetro, mes turėtumėm šitam koeficientui didesnį skaičių, bet visgi išeitų skaičius mažas, nes kieti kūnai galima tik labai mažai suspausti. Todel ir čia mes imame atvirkščią dydį, kuris vadinasi tūrio elastingumo modulis ir kuris reiškia ne ką kitą, kaip spaudimą, reikalingą tam, kad dusyk sumažintum paimtą tūrį. Tasai tūrio elastingumo modulis turi reikšmės skystiems kūnams, nes pastarieji nereiškia formos elastingumo, o pasižymi tik tūrio elastingumu.

Norint spręsti apie kietų kūnų kietumą, svarbu išmatuoti jėga, reikalinga atskirti vieniems kūno dalelių sluogsniams nuo kitų, veikiant jėgai išilgai sluogsnių, arba tangentinei jėgai. Varydami vinį į kietą kūną arba kirpdami jį žirklėmis, mes, taip sakant, nustumiame vienus dalelių sluogsnius nuo kitų. Paimkime tiesiakampį paralelopipedą (4 pieš.) A, B, C, D. Veikiant tangentinei jėgai P išilgai plokštės CD ir esant plokštei AB kietai sujungtai su parama, mes suteiksime tam paralelopipedui naują formą A B E F jau nebe tiesiakampio paralelopipedo, bet tokio pat tūrio. Taigi, stumdami vienus kūno dalelių sluogsnius kitų atžvilgiu, mes keičiame kūno formą (tikrai jį deformuojame), neliesdami jo tūrio. Pažymėsime kampą naujo šono A E padėties su pirmykščia A C padėtimi raide φ ir spaudimą raide $p = \frac{P}{q}$ (q plokštės C D plotas). Mes galime parašyti, kad $p = c\,\varphi$, žodžiais: spaudimas visuomet proporcingas pasistūmimo kampui. Jeigu kampas φ nedidelis, tai į patį pasistūmimą C E arba D F mes galime žiūrėti kaipo į kampo φ lanką ir tada turime, kad $CE = AC\,\varphi$, išreikšdami φ radianais. Koeficientas c vadinasi perskyrimo elastingumo koeficientas, o atvirkščias jam dydis $\frac{1}{c} = N = \frac{\varphi}{p} = \frac{CE \cdot q}{AC \cdot P} = \frac{CE \cdot q}{D}$ vadinasi nusistūmimo modulis. Sandauga AC iš P yra ne kas kita, kaip sukamas jėgos P momentas D.

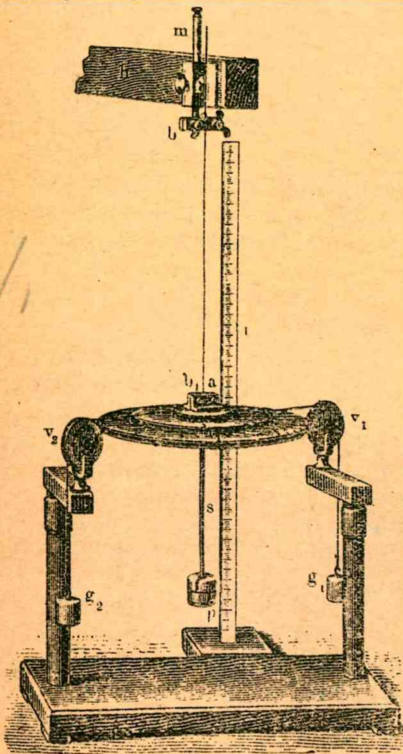
Panašų apsireiškimą mes turėsime priveržę vieną vielos arba net stiebo galą prie balkio, pakabinę ant antrojo galo vielos arba stiebo, kad jį ištemptų, tam tikrą svorį ir sukdami žemąjį galą viršutinio galo atžvilgiu. Mes čia tūrio nekeisime, o tiktai formą, ir turėsime pasistūmimą vienų stiebo dalelių sluogsnių kitų atžvilgiu. Mes čia turime, taip sakant, trečiąją elastingumo rūšį — sukimo, arba vijimo, elastingumą, iš kurio didumo mes irgi galime spręsti apie kūno kietumą. Pasirodo, kad čia tam tik



Pieš. 4

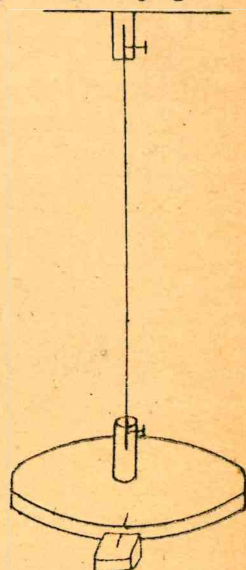
rose ribose veikia proporcingumo dėsnis tarp jėgų porio sukamo momento ir kampo, kuriuo žemasai stiebo skerskrodis pasisuka iš atžvilgio į viršutinį to paties stiebo skerskrodį. Aplamai, šito kampo didumas gali būti išreikštas tokiu reiškiniu: $\varphi = \frac{2.\ l.\ D}{T.\ \pi.\ r^4}$. Čia φ reiškia sluogsnių pasisukimo kampą, T — suktinį stiebo modulį, dydį, charakteringą sukimo, arba vijimo, elastingumui, l — stiebo ilgį ir r — stiebo spindulį (radijų), D — sukamas jėgų porio momentas. Taigi, žodžiais, pasisukimo kampas φ yra atvirkščiai proporcingas suktiniam moduliui ir ketvirtam laipsniui stiebo spindulio ir tiesiog proporcingas stiebo ilgiui bei sukamam jėgų porio momentui. To kampo dydis visiškai nepareina nuo svorio, pakabinto ant stiebo ar vielos galo.

Šitiems dėsniams patikrinti, galima pasinaudoti aparatu, kurį atvaizduoja 5 piešinys. Jis susideda iš rėmų, prie kurių tarp dviejų metalinių plokštelių b sraigtais galima suspausti vienas stiebo arba vielos galas. Toliau, stiebas arba viela eina per vidurį trigubo skritulio iš aluminijaus taip, kad ir čia viela gali būti suspusta sraigtais tarp plokštelių b_1. Ties skrituliu, skersmeniškai priešingose vietose, yra du nekilnojami skridiniai (arba rituliai) v_1 v_2 ant tam tikrų stulpelių. Permetę arba apsukę siūlą apie aluminijaus skritulį mažesnio arba didesnio skersmens (diametro) — kad siūlas laikytųsi, kiekvienas aluminijaus skritulys turi latakėlį savo apskritime—abu siūlo galus permetę toliau per skritulius ir prikabinę prie tų galų du vienodus svorius g_1 g_2, mes suksime vielą, sukdami aluminijaus skritulį, ir galėsime išmatuoti kampą, nes aluminijaus skritulys yra padalytas gradais, arba laipsniais. Apsukdami siūlą apie mažąjį, vidurinį ir didįjį skritulį, mes mainysime jėgų g_1 g^2 pečius, vadinasi — mainysime sukamąjį momentą. Toliau galime mainyti vielos ilgį tarp dviejų taškų b ir b_1, kur ta viela priveržta, ir matuoti tą ilgį mastine tiesykle t. Pagaliau galime pakeisti vieną vielą kita, didesnio arba mažesnio skersmens, ir tuo būdu patikrinti augščiau nurodytus dėsnius, lygiai kaip kabindami ant stiebo s, kietai sujungto su aluminijaus skrituliu, įvairius svorius p, galime įsitikrinti, kad pasistūmimo kampas φ nepareina nuo vielos įtempimo. Savaime yra aišku, kad šitas aparatas duoda galimumo surasti suktinį vielos modulį T. Bet dažniausiai suktinis modulis T surandamas nustatant svyravimo laiką, pasukus pakabintą ant vielos svorį į tą ar kitą pusę. Tam tikslui vartojamas labai paprastas aparatas, kurį atvaizduoja 6-s piešinys. Vienas vielos galas prispaustas sraigtu metalinio cilinderio plyšyje. Ant antro vielos galo sraigtu priveržiamas svoris skritulio pavidalo. Pasuktas šitas skritulys ims svyruoti gulsčioje plokštėje, ir mes galime nustatyti jo svyravimo laiką. Svyravimo laikas $t = \pi \sqrt{\frac{I}{D_1}}$. t čia reiškia laiką sekundomis, I reiškia inercijos momentą svorio-skritulio statinei ašiai, einančiai per skritulio vidurį, ir pagaliau D_1 reiškia kreipiančią jėgą. Iš formulos $\varphi = \frac{2.\ l.\ D}{T\ \pi\ r^4}$ mes turime $\frac{D}{\varphi} = D_1 = \frac{T \pi r^4}{2 l}$. Taigi pakėlę reiškinį svyravimo laikui į kva-



Pieš. 5

dratą ir pakeitę kreipiančią jėgą D_1 reiškiniu $\frac{T \pi r^4}{2 l}$, mes turėsime $t^2 = \frac{2 \pi l I}{T r^4}$. Inercijos momentą I taisyklingos formos kūnui mes galime apskaityti. Jeigu ant


Pieš. 6

vielos pakabintas kūnas yra netaisyklingos formos, tai mes, nustatę jam svyravimo laiką t, galime pakabinti prie jo dar kitą kūną taisyklingos formos, kurio inercijos momentas I_1 galima apskaityti, ir galime surasti naują svyravimo laiką $t_1 = \pi \sqrt{\frac{I+I_1}{D_1}}$. Pakėlę į kvadratus, turėsime $t_1^2 = \frac{\pi^2 (I+I_1)}{D_1}$. Atėmę nuo šitos lygties lygtį t^2, mes turėsime $t_1^2 - t^2 = \frac{\pi^2 I_1}{D_1} = \frac{2 \pi l I_1}{T r^4}$. Iš čia suktinis vielos modulis $T = \frac{2 \pi l I_1}{(t_1^2 - t^2) r^4}$. Vadinasi, išmatavę vielos ilgį l santimetrais, jos spindulį r centimetrais, inercijos momentą gramais centimetrais ir svyravimo laiką sekundomis, mes galime apskaityti suktinį modulį absolutiniais vienetais (gramais, centimetrais, sekundomis), nuo kurių perėjimas prie kilogramų ant kvadratinio milimetro, kaip kad šitą modulį išreiškia technikai, bus jau paprastas dalykas.

Sukimo, arba vijimo, elastingumu remiasi fizikos aparatai matuoti mažoms jėgoms, kaip antai: Coulomb'o suktinės svarstykles matuoti magnetinėms arba elektros jėgoms, galvanometrai ir net paprastos svarstyklės palyginti labai mažoms masėms. Visuose tuose aparatuose mažos jegos kompensuojamos plonų vielų iš metalo, putnago (pūlianagio), šilko vijimo elastingumo pasipriešinimu. Su tokiais aparatais mes susidursime tolimesniuose fizikos skyriuose, o su vienu iš jų, būtent, su Kavendišo suktinėmis svarstyklėmis nustatyti Newton'o visuotinos traukos konstantai, mes jau pasipažinome mechanikos skyriuje.

Iš reiškinio $T = \frac{2Dl}{\pi r^4 \varphi}$, padauginę skaitiklį ir vardiklį iš dešiniosios pusės skaičiaus π, mes turėsime $T = \frac{Dl}{\pi^2 r^4} \cdot \frac{2\pi}{\varphi}$, arba $= \frac{Dl}{q^2} \cdot \frac{2\pi}{\varphi}$, nes πr^2 yra vielos skerskrodžio plotas. Taigi suktinis elastingumo modulis T konkrečiai yra ne kas kita, kaip sukamas momentas, kuris pajėgtų pasukti per $\varphi = 360^0$ (2π radianais) vielą metro ilgio ir 1 kv. milimetro skerskrodžio ploto.

Tarp suktinio elastingumo modulio T ir Young'o modulio E mes turime santykį $T = \frac{E}{2(\mu+1)}$. Kaip jau augščiau pažymėta, μ yra Poisson'o koeficientas, ir jo dydis svyruoja ribose $0 - \frac{1}{2}$. Taigi metalams T svyruoja ribose $\frac{1}{2}E - \frac{1}{3}E$. Vadinasi, kietų kūnų elastingumo charakteristikai pakanka nustatyti E ir μ arba k (tūrio elastingumo koeficientas) ir T.

Augščiau mes apsvarstėme išilginio įtempimo elastingumą, tūrio elastingumą ir formos elastingumą. Tikrenybėje kūno deformacija susideda iš tūrio ir formos pakeitimo, ir sprandant deformacijos uždavinius galima kiekviena deformacija, taip sakant, išdėstyti į išilginį ir skersą kūno įtempimą ir į jo dalelių sluogsnių pasistūmimą vienas kito atžvilgiu.

Pažymėsime dar čia didumą Young'o elastingumo modulio ir suktinio modulio, Iš formulos $E = \frac{PLo}{ql}$ išeina, kad $[Ea] = l^{-1} m t^{-2}$, lygiai kaip iš formulos $T = \frac{Dl}{q^2} \cdot \frac{2\pi}{\varphi}$

išeina, kad $[Ta] = l^{-1}mt^{-2}$. Vadinasi, abidvi šitos konstantos turi spaudimo, arba įtempimo charakterį. Visi nurodytieji elastingumo dėsniai veikia tik tam tikrose kūnų įtempimo ribose, kitaip sakant, kiekvienam kietam kūnui yra maksimalinė tempiamoji jėga, kurią peržengus, kūno elastingumo savybės griežtai mainosi ir elementarinis Hook'o dėsnis nustoja veikęs. Šita maksimalinė jėga fizikoje ir technikoje vadinasi elastingumo, arba stamantrumo, ribos, ir ji yra visuomet mažesnė už tą jėgą, kuri reikalinga kūnui pertraukti arba jam perlaužti, kurią mes vadiname kūno stiprumu.

Dalykas tas, kad tam tikrose įtempimo ribose, nustojus veikti deformuojančioms jėgoms, kietas kūnas atitaiso savo pirmykštę formą ir pirmykštį tūrį. Tobūlai elastingi kūnai akimirksnyje atitaiso savo formą ir tūrį, pašalinus deformacijos priežastį, lygiai kaip akimirksnyje įgyja naują tūrį ir formą, pradėjus veikti deformuojančiai jėgai. Tikrenybėje tokių kūnų nėra, ir realūs kieti kūnai atitaiso savo formą ir tūrį praėjus mažesniam ar ilgesniam laikui nuo deformacijos priežasties pašalinimo (lygiai kaip reikalingas mažesnis ar ilgesnis laikotarpis, kad kūnas įgytų turį ir formą pagal veikiančią deformuojančią jėgą). Šitas apsireiškimas vadinasi elastingas kūno poveikimas, arba elastingas kūno nuvargimas, ir jis darosi juo didesnis, juo labiau prisiartinta prie elastingumo ribų. Peržengus šitas ribas, kūnas jau visiškai nebepajėgia atitaisyti savo pirmykštės formos ir tūrio, nustoja, taip sakant, savo elastingumo ir darosi panašus į klampius skysčius. Didinant tempiamąją jėgą, pagaliau kūnas pertrūksta arba lūžta. Prieš pasiekiant šitą momentą, tempiamas, pavyzdžiui, geležies stiebas ima griežtai mainyti vienoje vietoje savo skerskrodį, kuris darosi vis siauresnis, ir pagaliau toje vietoje trūksta. Nagrinėdami geležies struktūrą pertraukimo arba perlaužimo vietoje, mes pastebėsime charakteringus tekėjimo apsireiškimus, o ant paviršiaus apsireiškia ypatingas piešinys.

Paduosime čionai elastingumo konstantas dažniausiai vartojamiems praktikoje metalams.

	E	T	μ	
Plienas	20.400	8070	0,26	
Geležis	12.800	5210	0,23	(chemiškai gryna geležis)
Misingis	9.220	3700	0,25	
Žalvaris	10.600	4060	0,31	

Iš čia matyti, kad Poisson'o koeficientas μ vidutiniškai metalams bus apie 0,25.

Kai del elastingumo ribų ir stiprumo, tai duosime čia porą pavyzdžių. Nikelio plieno stiprumas yra 71 kilogramas ant 1 kv. milimetro, o elastingumo ribos — 48 kilogr.; atleisto chromo plieno stiprumas 62, o elastingumo ribos — 50 ir pagaliau užgrūdyto chromo plieno stiprumas — 128, o elastingumo ribos — 102. Technikui, sprendžiant apie statomos medžiagos stiprumą, reikia atsižvelgti į abudu tuos skaičius ir daboti, kad elastingumo ribos, apskaitant spaudimus ir įtempimus, kurie teks išlaikyti statomajai medžiagai, būtų kuo mažiausiai peržengtos.

Tam tikrose ribose elastingumo jėgos yra proporcingos viduriniam įtempimui, vadinasi, atitolinimui kūno dalelių viena nuo kitos arba jų suartinimui, ir tos jėgos visuomet veikia ta prasme, kad atitaisytų pirmykštę padėtį. Bet atitaisant tą pirmykštę padėtį, potencinė kūno dalelių energija virsta kinetine energija, ir dalelės iš inercijos peršoka savo normalią padėtį ir atsilenkia į priešinga pusę, bet ir čia atitaisanti elastingumo jėga yra visuomet atkreipta normalinės padėties link ir visuomet didumo esti proporcinga atsitolinimui dalelės nuo normalios savo padėties. Tokiomis sąlygomis, dalelė darniai ir izochroniškai svyruoja. Jeigu mes paimsime metalinį spyruoklį, jį suspausime arba ištempsime, arba pasuksime ir paskui atleisime, tai tokis spyruoklis ims harmoningai ir izochroniskai svyruoti, nes veikianti išorinė jėga sukels čia tam tikrą įtempimą tarp atskirų spyruoklio dalių ir, kaipo to įtempimo vaisius, elastingas pastangas spyruoklio atitaisyti savo pirmykštę formą ir tūrį. Todel ploni gero plieno spyruokliai vartojami reguliuoti balansyro svyravimui kišeniniuose laikrodžiuose, kad laikrodis tiksliai eitų. Spyruokliai iš storos vielos arba net ir me-

talinių stiebų ir juostų yra vartojami dažnai kaipo buferai, norint išvengti katastrofingų išdavų, susidūrus kietiems kūnams. Jeigu susidurtų du absolutiškai kieti kūnai, tai tokio susidūrimo išdava būtų abiejų kūnų suskaldymas akimirksnyje, nes tokiu atveju susidūrimo jėgos per labai trumpą laiką pasiektų begalinį didumą. Bet jeigu susidūrę kūnai yra elastingi, tai susidūrimo jėgos padarys deformaciją, ir, kaipo tos deformacijos vaisius, kinetinė susidūrusiu kūnų energija pavirs potencine elastingumo energija, kuri, atitaisant kūnams savo normalų stovį, virs vėl kinetine energija, ir t. t. Taigi mes čia pagaliau turėsime periodinį pasikeitimą kinetinės energijos potencine ir atbulai, turėsime izochroninį harmoningą svyravimą spyruoklių nuolat mažėjančia amplitūda del vidurinio trynimo tarp spyruoklio dalelių ir, kaipo to vidurinio trynimo vaisių, nuolatinį mažėjimą kinetinės energijos, išvirstant jai šilima, taip kad pagaliau visa susidūrimo energija pamaži apsireikš šilimos pavidalu ir bus išvengta kūnų susiskaldymo katastrofos. Didelė kūnų elastingumo reikšmė praktikoje ir yra ta, kad jis duoda galimumo moderuoti susidūrimo efektą. Kalbėdami apie kūnų elastingumo savybes, viršuj mes davėme svarbiausius matematinius reiškinius, kuriais nustatomi santykiai tarp kūnų elastingumo, veikiančių deformuojančių jėgų ir kūnų didumo, nes tie santykiai bus reikalingi žinoti sprendžiant apie kitas fizinių kūnų savybes. Mes nedavėme tų matematinių reiškinių išvadų, nes tai yra painokas dalykas, kuris iš vienos pusės remiasi molekuline kūnų struktūros hipoteze ir, veikiančiomis tarp molekulų, molekulinės traukos jėgomis, peržengiant tam tikrą tolumą tarp molekulų, kada jos atitolinamos viena nuo kitos, ir molekulinio atsistūmimo jėgomis, kada jos artinamos viena prie kitos. Iš kitos pusės elastingumo teorija remiasi energetika, rišant kūnų energiją su atskiromis jų tūrio arba paviršiaus dalimis ir sprendžiant apie energijos kitėjimą iš geometrinių kūnų santykių pasikeitimo. Šiandien kietų kūnų elastingumo teorija sudaro didelį fizikos skyrių, ir tiems, kurie norėtų smulkiau pasipažinti su šita teorija, reikia kreiptis į specialinius veikalus. Smulkus tos teorijos išdėstymas eksperimentinės fizikos kurse būtų ne vietoje. Pagaliau pabrėšime dar čia, kad paduotieji elastingumo dėsniai turi galios izotropiniams kūnams. Anizotropinių kūnų elastingumas yra daug painesnis dalykas kaip, pavyzdžiui, krištolų elastingumas, kur tas dydis turi, sakysim, vieną reikšmę išilgai krištolo svarbiosios simetrijos ašies, kitą reikšmę skersai tos ašies, trečią reikšmę nuožulnia kryptimi.

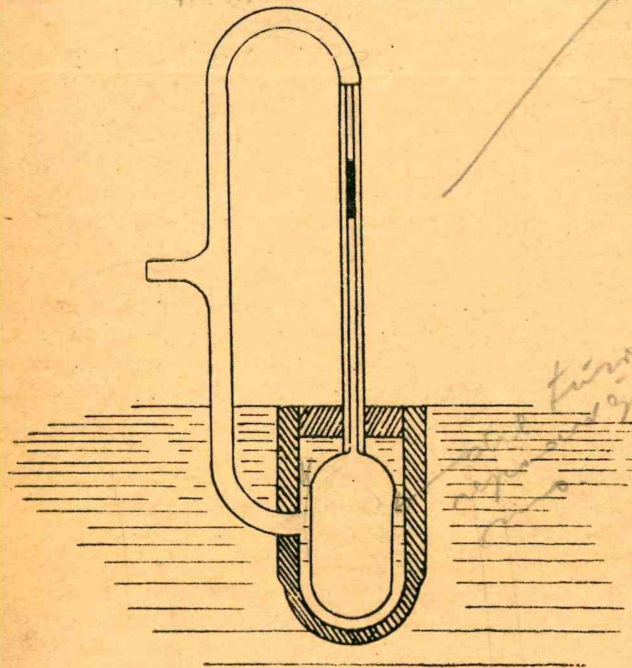
3 §. Skysčiai.

Kaip jau anksčiau pasakyta, tobūli skysčiai skiriasi nuo kietų kūnų tuo, kad jų dalelės yra judamos be jokio trynimo, kad jie galima laikyti bet kokios formos induose ir pagalios visiškai negali būti suspausti. Realūs skysčiai, kaip antai, vanduo, nors ir mažai, bet vis del to šiek tiek suspaudžiami ir jų dalelės judėdamos susitinka, tiesa, su nedidele, bet vis delto su matuojama reakcija, kuri vadinasi skysčio vidurinis trynimas, arba klampumas. Šitas dydis žymiai pareina nuo greitumo skysčio delelių ir aplamai yra proporcingas to greitumo antrajam laipsniui. Taigi judančių skysčių savybės žymiai skiriasi nuo parimusių skysčių savybių. Pastariesiems veikia tie patys dėsniai, kaip ir tobūliems skysčiams.

Skysčių pusiausvyros ir judėjimo mokslas aplamai vadinasi hidrodinamika. Ta dalis hidrodinamikos, kuri nustato skysčių pusiausvyros dėsnius, vadinasi hidrostatika. Mokslas gi apie pritaikinimą hidrodinamikos dėsnių gyvenimo reikalams vadinasi hidraulika.

Iš visų pusių spaudžiamo skysčio tūris šiek tiek sumažės. Pažymėsime skysčio pradžios tūrį raide V_0; jėgą, veikiančią ant 1 kvadratinio centimetro ploto, raide P (šitą jėgą mes vadiname spaudimu), skysčio spaudimo elastingumo koeficientą raide k ir pagalios skysčio tūrio sumažėjimą — dV; tad mes turime $dV = k \cdot P \cdot V_0$, iš čia $k = \frac{dV}{PV_0}$, arba $\frac{1}{k} = E_r = \frac{PV_0}{dV}$. Tai ir bus skysčio tūrio elastingumo modulis. Formos gi elastingumo skysčiai visiškai nereiškia.

Skysčių spaudimo elastingumo koeficientui, arba jų tūrio elastingumo moduliui, nustatyti vartojamas aparatas, kuris vadinasi piezometras (7 pieš.). Pagrindinė jo dalis yra indas iš stipraus stiklo cilinderio formos, aprūpintas vamzdžiu irgi iš stipraus stiklo mažo kalibro. Vamzdis kalibruotas, panašiai kaip termometro vamzdis. Cilindrinis indas ir dalis vamzdžio pripilti vandens ar kito kurio skysčio, o viršum vandens—gyvojo sidabro stulpelis, kuris vaidina stumiklio vaidmenį ir kuris nekrinta žemyn del trynimo siaurajame, gangreit kapilariniame vamzdyje. Stiklo indas yra platesniame plieno inde, aklai uždarytame, bet sujungtame su hidrauliniu presu (žiūr. žemiau). Taip pat kapilarinio vamzdžio galas irgi aklai sujungtas su tuo pačiu hidrauliniu presu taip, kad vanduo yra pasėmęs plieno indą ir randaši viršum gyvojo sidabro stulpelio. Hidraulinis presas duoda galimumo pareikšti didelį spaudimą ir suspausti skysčio tūrį, apie ką mes ir sprendžiame iš gyvojo sidabro stulpelio pasistūmimo žemyn. Bet kadangi spausdami vandenį mes suteiksime tą patį spaudimą ir indo šonams iš vidaus, tai, kad išvengtum pataisos del stiklo susispaudimo, mes ir laikome stiklo indą plieno inde, sujungtame su hidrauliniu presu taip, kad tas pats spaudimas bus suteiktas stiklo indo šonams ir iš oro. Bet ir šita priemonė visgi neatleidžia nuo reikalo pridėti prie matomo skysčio suspaudimo stiklo suspaudimą, nes išorinis stiklo indo paviršius yra didesnis negu vidurinis, ir todel spaudimas iš oro yra didesnis negu iš vidaus taip, kad stiklo indas šiek tiek susitraukia, nelyginant to paties tūrio stiklo gabalas.


Pieš. 7

Bandymai su piezometru parodė, kad sumažėjimas tūrio, išreikštas dalimis pirmykščio tūrio, esant spaudimui lygiam 1 atmosferai, gyvajam sidabrui bus 3.10^{-6}, vandeniui 50.10^{-6}, spiritui 84.10^{-6}, eterui 109.10^{-6} ir t.t. Tai ir bus spaudimo elastingumo koeficientai, kurie, kaip matyti, yra labai maži dydžiai. Nustojus spaudimui veikti, skysčiai tuojau grįžta prie savo pirmykščio tūrio.

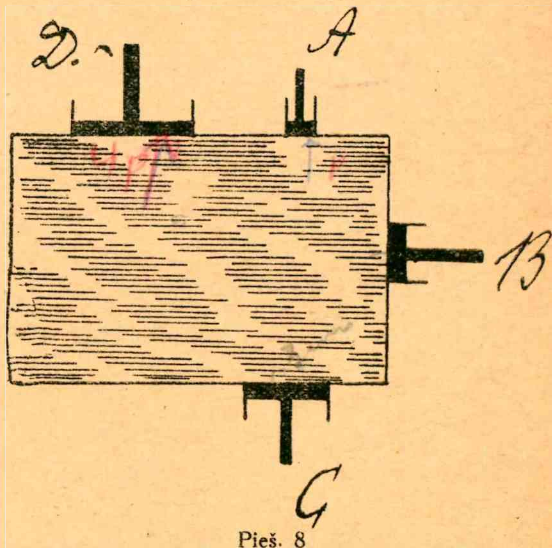
Čia pažymėsime dar, kad skysčiai galima elastingai ir ištempti.

4. Hidrostatikos dėsniai.

Eidami prie skysčių pusiausvyros tyrinėjimo, pažymėsime pirmiausia, kad skysčiai, nelyginant kaip ir kieti kūnai, spaudžia į tuos paviršius, kuriais jie remiasi. Bet skiriasi nuo kietų kūnų šituo atžvilgiu, kad panašiai veikia kūnus visiškai švelnių paviršių, kas eina iš jų dalelių judingumo. Taigi kiekvienas parimusio skysčio sluogsnis visuomet spaudžia į savo aramą statine kryptimi ir, kaipo reakcija, pats sluogsnis yra įtakoj statinio spaudimo, tik atkreipto į priešingą pusę. Jeigu spaudimas būtų ne statinis, bet nuožulnus skysčio paviršiaus atžvilgiu, tai šitą spaudimą mes galėtume išskaidyti į 2 komponentas: vieną statinę, kitą gulsčią, arba net tangentinę sluogsnio paviršiui, ir tada skysčio dalelės nebūtų ramybėje, bet slinktų pakol ta gulsčia, arba tangentinė, komponenta nesumažėtų iki nulio, paliekant tik statine komponentai. Taigi skysčio sluogsnis negalėtų būti ramybės stovyje. Tai ir bus piri

mas hidrostatikos dėsnis. Iš jo eina, kad vandens paviršius kibire ir šiaipjau platesniam inde sudaro gulsčią plokštį, nes paviršutinio sluogsnio dalelės yra įtakoj svorio jėgos, kuri veikia žemės centro link, vadinas, statinai. Jeigu susisiekimo indai susideda iš nepersiaurų vamzdžių, tai abiejose dalyse skysčio paviršius būna gulsčias, ir tokiais indais galima naudotis kaipo aparatu niveluoti. Bet žemės radijai, arba spinduliai, atrodo mums lygiagrečiai tik tada, kada dvi vietos yra ant žemės arti viena antros. Augant tolumui dviejų vietų vienos nuo antros, žemės radijai sudaro jau žymų kampą ir jie jau nebeatrodo mums lygiagrečiai. Tai vandens paviršius jūroje arba okeane atrodo kreivas, nebeplokščias, nes tas paviršius iš tikrųjų yra sferos paviršiaus dalis, kurios kreivumo mes tik tol negalime pastebėti, pakol turime reikalo su linijomis, jungiančiomis dvi artimas žemės paviršiaus vietas.

Iš lengvo judingumo skysčio dalelių išeina, kad skysčiai kitaip perduoda spaudimą, negu kieti kūnai. Įsivaizduokime sau masingą geležinį cilinderį, įdėtą į cilindrinį indą, tik truputį didesnio diametro, taip kad masingas cilinderis vos vos tilpsta cilindriniame inde. Suteikus masingam cilinderiui spaudimą iš viršaus stačiai žemyn, tas spaudimas bus suteiktas tik cilindrinio indo dugnui. Į šonus nebus perduota jokio spaudimo. Jeigu mes, išėmę masingą geležinį cilinderį, cilindrinį indą pripilsime šatrų, tai spaudžiant šatrus stačiai žemyn, spaudimas bus suteiktas ne tik indo dugnui, bet jau dalinai ir indo šonams, nes šatrai arba jų sluogsniai gali šliaužti vieni kitų atžvilgiu, ir todel spaudžiant žemyn jau čia apsireikš spaudimas ir kitomis kryptimis. Jeigu šatrai bus sušlapinti arba net paaliejinti, tai vieni šatrų sluogsniai daug lengviau galės slinkti iš atžvilgio į kitus, ir spaudimo perdavimas ne tik stačiai žemyn, bet ir į šonus, bus daug žymesnis. Jeigu mes cilindrinį indą pripilsime vandens arba kito kokio skysčio, tai del priežasties mažo trynimosi tarp skysčio dalelių, suteikiant spaudimą skysčio paviršiui, tas spaudimas bus perduotas į visas puses vienodai, ir žemyn, ir augštyn ir į šonus. Tai ir bus antrasai hidrostatikos dėsnis, kuris galima trumpai formuluoti taip: **skysčiai perduoda suteiktą jiems spaudimą į visas puses vienodai.** Įsivaizduokime sau indą stačiakampio paralelopipedo pavidalo (žiūr. 8 piešinį) visiškai pilną vandens, su keturiais vamzdžiais A, B, C ir D, su hermetiškai pritaikintais tuose vamzdžiuose stumikliais taip, kad jie vaikščiotų be jokio arba su labai mažu trynimu. Tegu vamzdžio A ir, vadinas, stumiklio A skerskrodžio plotas bus 1 kv. centimetras, vamzdžio B —2 kv. centimetrai, vamzdžio C—3 kv. centim. ir vamzdžio D—4 kv. centim. Suteikus kokį nors spaudimą stumikliui A, pavyzdžiui, uždėjus ant jo 10 kilogramų krovinį, mes tokį pat spaudimą suteiksime ir stumikliams B, C ir D, bet jėga, kuri veiks stumiklį A, bus mažesnė negu jėgos, veikiančios stumiklius B, C ir D. Priveršime stumiklius B ir C taip, kad jie būtų nejudami, palikdami stumiklius A ir D judamais. Jeigu mes spaudimu pavarysime stumiklį A s centimetrų žemyn, tai tuo būdu mes įvarysime į indą s kūbinių centimetrų vandens, ir tas vandens tūris įsiverš į vamzdį D, keldamas augštyn stumiklį D. Bet vamzdžio skerskrodžio ir, vadinas, stumiklio D plotas yra 4 kv. centimetrai.

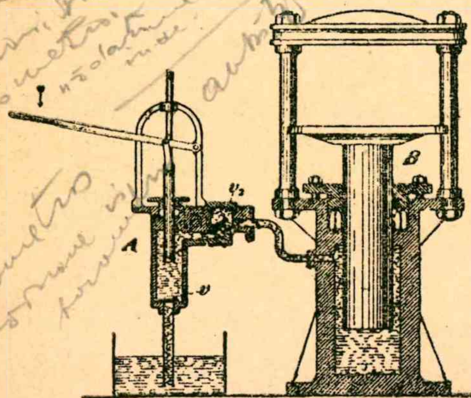


Pieš. 8

Vadinas, stumiklis D pakils augštyn tik $\frac{S}{4}$ cent. Pažymėsime spaudimą, suteiktą stumikliui A raide p. Tad ir jėga, veikianti stumiklį A, bus p, nes jo plotas 1 kv. centimetras. Spaudimas, suteiktas stumikliui D, bus irgi p, bet veikianti jį jėga

bus 4p, nes jo plotas yra 4 kv. centimetrai. Taigi stumiklio A atliktas darbas bus ps, stumiklio gi D išeikvotas darbas bus 4 p . $\frac{s}{4}$, t. y., ps. Šitą aparatą mes galime pavadinti hidrauline mašina, nes jos pagalba galima perduoti darbas ir konstatuoti, kad hidraulinei mašinai veikia tas pats darbo, arba energijos, išlaikymo dėsnis, kaip ir kitoms mašinoms, būtent, kad darbo atžvilgiu nebus nei laimėta, nei pralaimėta. Bus laimėta čia jėgos atžvilgiu, nes palyginti maža jėga, veikiančia stumiklį A, mes galėsime atsverti didelę jėgą, veikiančią stumiklį D, bet kiek mes laimėsime jėgos atžvilgiu, tiek pralaimėsime nuvykto kelio atžvilgiu. Todel veikiant 10 kilogramų svoriui stumiklį A, mes galėsime nusverti 40 kilogramų ant stumiklio D, bet tuomet, kada stumiklis A paslinks žemyn 1 centimetru, stumiklis D pakils augštyn tik $\frac{1}{4}$ centimetro.

Šituo principu remiasi svarbi technikoje hidraulinė mašina, būtent, hidraulinis presas, arba, kaip jį dažnai vadina, «Bramah» presas (žiūr. 8b piešinį). Hidraulinis presas susideda iš dviejų nevienodo diametro cilinderių A ir B, sujungtų kanalu. Cilinderiuose hermetiškai vaikščioja stumikliai A nedidelio skerskrodžio ploto q kv. centimetrų ir B didesnio skerskrodžio ploto Q kv. centim. Cilinderis A yra sujungtas vamzdžiu su vandens rezervuaru ir turi 2 vožtuvu v ir v_2, del kurių tas cilinderis veikia kaip jėgos siurblys, taip kad veikiant svirties pagalba cilinderio A stumiklį į cilinderius A ir B prieina vandens. Pagal antrąjį hidrostatikos dėsnį, suteikus stumikliui A spaudimą p kilogramų žemyn, toks pat spaudimas bus perduotas stumikliui B augštyn. Bet jėga, veikianti stumiklį A, bus p . q kilogramų, o stumiklį B — p . Q kilogramų, taip kad stumiklį B veiks jėga $\frac{Q}{q}$ sykių didesnė. Taigi hidraulinis presas duoda galimumo, palyginti, mažo spaudimo pagalba išreikšti didelę jėgą. Santykis $\frac{Q}{q}$ vadinasi mechaninis preso naudingumas. Pavyzdžiui, paėmus cilinderį A 10 kv. centimetrų skerskrodžio ploto, o cilinderį B 1.000 kv. centimetrų skerskrodžio ploto, mechaninio naudingumo koeficientas bus 100, ir veikiant cilinderį A 50 kilogramų jėgai, cilinderis B pareikš jėgą 5.000 kilogr. Todel priveržus prie cilinderio B galo stiprią plieno lentą taip, kad ji galėtų šliaužioti tam tikrose ienose, kaip rodo piešinys, ir uždėjus ant šitos lentos raudonai įkaitintą didelį geležies gabalą, jis galima smarkiai suspausti.



Pieš. 8b

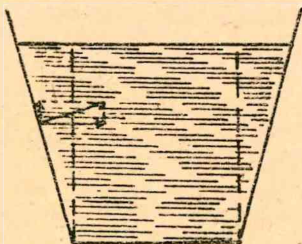
Iki šiol kalbėjome apie perdavimą išorinio spaudimo skysčiuose, neatsižvelgdami į jų svorį. Realūs skysčiai turi svorį, ir del tos priežasties augštesnieji skysčio sluogsniai spaudžia žemesniuosius sluogsnius, ir tas spaudimas pagal antrąjį dėsnį persiduoda vienodai į visas puses. Todel skysčiai induose spaudžia į indo dugną ir šonus normaliai arba statinai dugno ir šono paviršiams. Norėdami išspręst nuo kokių veiksnių pareina tas spaudimas, įsivaizduokim sau cilindrinį kibirą, pilną vandens. Čia savaime aišku, kad tokiam inde skystis visu savo sunkumu veikia į dugną statinai žemyn, ir dugno reakcija yra lygi skysčio svoriui, bet atkreipta stačiai augštyn. Indo gi šonus skysčio spaudimas veikia čia gulsčiomis kryptimis, ir tų šonų reakcija veikia taip pat gulsčiomis kryptimis, tik ta reakcija atkreipta prieš skysčio spaudimą. Todel indo šonai visiškai nepalaiko skysčio svorio, o tik tepalaiko skysčio formą, kurią stengiasi sudaryti svarumo jėga. Todel cilindriniam kibire jėga, veikianti kibiro dugną bus lygi skysčio svoriui. Pažymėsime šitą jėgą raide P, kibiro dugno plotą raide q, kibiro augštį raide h ir pagaliau skysčio tankumą (arba lyginamąjį svorį) raide d. Tad kibiro tūris bus h . q kūbinių centimetrų, o

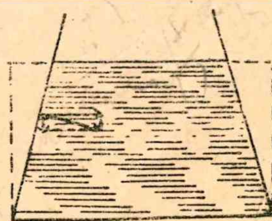
skysčio svoris h . q . d, ir mes turėsime P = h . q . d. Iš čia spaudimas $p = \frac{P}{q} =$ = h . d. Tad išeina, kad skysčio spaudimas į cilindrinį kibiro dugną pareina nuo to kibiro augščio h, arba nuo skysčio gilumo, ir nuo to skysčio lyginamojo svorio. Jeigu mes turime reikalo su vandeniu, kurio tankumas yra lygus 1, tad $p = \frac{P}{q} = h$ (gramų, arba kilogramų, arba tonų, nelygu kokiais ilgio vienetais išmatuotas gilumas h — centimetrais, decimetrais ar metrais). Šitas santykis yra tikslus tik teoretiniams negniužiems, arba nesuspaudžiamiems, skysčiams. Realūs skysčiai visgi šiek tiek susispaudžia, ir todel, apskaitant didelių gilumų spaudimą, reikia turėti omeny, kad d bus nebepastovus dydis, bet augs drauge su giluma.

Įsivaizduokim sau dabar gulsčią plokštelę augščiau dugno, pavyzdžiui h gilumo nuo skysčio paviršiaus. Iš to, kas augščiau pasakyta, eina, kad statinis spaudimas žemyn į šitą plokštelę bus h . d, reakcija iš žemesnių skysčio sluogsnių augštyn bus tokia pat ir pagaliau, pagal antrąjį hidrostatikos dėsnį, tokis pat spaudimas persiduos į visas puses vienodai. Tad toj pačioj gilumoj h spaudimas į indo šonus bus irgi lygus h . d ir veiks tuos šonus statinai, vadinas, cilindriniam kibire gulsčiai. Iš čia eina, kad spaudimai į diametraliai priešingas šonų dalis bus lygūs ir atkreipti į priešingas puses. Tokis pat samprotavimas gali būti pakartotas plokštelei bet kokioj gilumoj skystyje ir pagaliau plokštelei iš paties skysčio.

Paimsime dabar kitos formos indą, pavyzdžiui, nukirsto iš abiejų galų kūgio pavidalo ir pastatysime tą indą taip, kad dugnu būtų mažesnis pagrindas (žiūr. 9 pieš.). Tegu dugno plotas bus q kv. centimetrų, jo atokumas nuo skysčio paviršiaus h centimetrų ir pagaliau skysčio tankumas d. Koks čia bus spaudimas į indo dugną? Įsivaizduokim sau skysčio cilinderį, kuris remiasi į indo dugną ir kurio augštis lygus h. Tat spaudimas čia bus toks pat, koks cilindriniam kibire, vadinasi, bus lygus h. d. Pasilieka dar skystimo sluogsniai tarp cilinderio šonų ir indo šonų, bet tie sluogsniai visiškai nesiremia į indo dugną, o remiasi į šonus. Skysčius spaudžia iš šonų statinai. Bet tos statinės linijos čionai ne gulsčios, ir todel statinį spaudimą į indo šonus mes čia galime išskaidyti į dvi komponentas: gulsčią, kuri, kaip ir cilindriniam indui palaiko tik skysčio formą ir nieko neturi bendra su skysčio svorio palaikymu, ir statinę, atkreiptą augštyn, kuri palaiko dalį skysčio svorio. Tad šitokiam inde dugnas palaiko vieną dalį skysčio svorio, o indo šonai kitą dalį, ir čia visa jėga, veikianti dugną, bus mažesnė negu svoris skysčio, tilpstančio inde, ir bus lygi h . d.

Apverskime dabar tą patį indą taip, kad jo dugnu būtų didesnis pagrindas (žiūr. 10 pieš.). Visi kiti santykiai pasilieka kaip 9 piešiny, tik dugno plotas bus


Pieš. 9

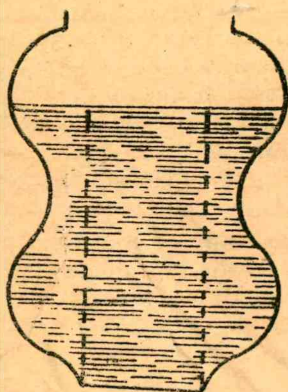

Pieš. 10

didesnis, būtent, Q kv. centimetrų. Šituo atveju statinis spaudimas į dugno šonus irgi gali būti išskaidytas į dvi komponentas; gulsčią ir statinę, atkreiptą žemyn taip, kad čia indo šonai visiškai nepalaiko skysčio svorio, ir visas skysčio svoris veikia dugną. Įsivaizduokime sau dabar cilinderį tokio pat augščio kaip mūsų indas ir su tokia pat baze ir pilną vandens. Šito cilinderio tūris bus h . Q , ir skysčio svoris bus h . Q . d. Tad visa jėga, veikianti jo dugną P = h . Q . d. Iš to, kas augščiau pasakyta, aišku; kad tokia pat jėga P veikia skysčius per mūsų kūginio indo dugną

Tad šitame atvejyje jėga, veikianti dugną, bus didesnė negu tilpstančio inde vandens svoris. Šitas faktas, kad visas spaudimas į dugną gali būti didesnis arba mažesnis kaip vandens svoris, viduramžyje buvo žinomas kaipo hidrostatinis paradoksas. Bet čia nėra jokio paradokso, nes vienu atsitikimu skysčio svorio dalis palaiko indo šonai, o kitu atsitikimu tie šonai duoda komponentas, atkreiptas stačiai žemyn ir veikiančias dugną. Mes galime įsivaizduoti sau bet kokios painios formos indą, kaip, pavyzdžiui, indas, atvaizduotas 11 piešiny. Iš to, kas augščiau pasakyta, išeina, kad veikianti indo dugną jėga ir čia bus lygi vandens svoriui cilinderio, kuris remiasi į indo dugną ir kurio augštis yra lygus gilumui dugno nuo skysčio paviršiaus. Tad išeina, kad skysčio spaudimas į dugną arba į plotmę bet kokioj vietoj skystyje pareina tik nuo dviejų veiksnių: nuo šitos plotmės gilumo, skaitant nuo skysčio paviršiaus, ir nuo skysčio lyginamojo svorio. O jeigu mes kalbėsime apie jėgą, veikiančią dugną arba bet kokią plokštelę bet kokioj skysčio vietoj, tad reikia turėti omeny šito dugno arba plokštelės plotą. Tai ir bus trečiasai hidrostatikos dėsnis.

Pavyzdžiui, paėmus indą vamzdžio su užriestu galu pavidalo (žiūr. 12 pieš.), norint apskaityti spaudimas, kuris veikia augštyn į indo AB dugną, reikia žinoti tik skirtumas tarp skysčio lygių a b ir AB, kurių skirtumą pažymėsime raide h, ir skysčio lyginamasai svoris, kurį pažymėsime raide d. Ieškomas spaudimas bus čia d . h (vandeniui h), o visa veikianti augštyn į dugną AB jėga bus b . q . d, jeigu mes dugno AB plotą pažymėsime raide q (vandeniui ta jėga bus h . q).

Šituo dėsniu remiasi įdomus aparatas, vadinamas hidrostatiniais dumtuvais (žiūr. 13 pieš.). Hidrostatiniai dumtuvai susideda iš dviejų gulsčių lentų ir šikšninio maišo tarp jų. Į maišą hermetiškai įstumtas stiklinis arba metalinis vamzdis,



Pieš. 11



Pieš. 12



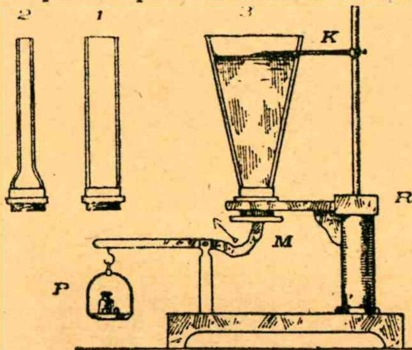
Pieš. 13

užriestas augštyn, į kurio viršutinę skylę įdėtas piltuvas. Žmogus, atsistojęs ant viršutinės dumtuvų lentos ir pildamas pro vamzdį į maišą vandenį, gali save pakelti augštyn. Aišku, kad žmogus tada ims kilti augštyn, kada visas hidrostatinis spaudimas į lentą (visa veikianti augštyn jėga) pasidarys truputį didesnė negu žmogaus svoris. Tegu žmogus sveria 80 kilogramų ir tegu lentos plotas bus 504 kv. centimetrų. Tad hidrostatinė jėga, veikianti šitą plotą, bus 504 . x, jeigu mes raide x pažymėsime skirtumą tarp vandens paviršiaus augščio vamzdyje ir lentos augščio. Kadangi 504 x = 80.000 (gramų), tai x bus lygus $\frac{80.000}{504} = 158,7$ centimetrų arba, apskritai, daugiau kaip $1\frac{1}{2}$ metro. Kadangi tai bus vidutinis žmogaus augštis, tai

išeina, kad pripylus vandens į vamzdį sulig savo galva žmogus atsvers save ir pildamas daugiau vandens ims kilti augštyn.

Hidrostatiniais dumtuvais galima naudotis žmogaus vidutinio skerskrodžio plotui surasti, kas turi reikšmės fiziologijoj, pav., vidutinio žmogaus tūriui apskaityti. Jeigu žmogus sveria 80 klg. ir jo augštis yra lygus, pavyzdžiui, 1,6 metro, tai hidrostatinių dumtuvų lentos plotą x mes surasime iš lygties 160 x = 80.000. Iš čia x = 500 kvadr. centimetrų. Vadinas, vidutinis žmogaus skerskrodžio plotas yra lygus hidrostatinių dumtuvų lentos plotui, į kurią hidrostatinis spaudimas pasidaro lygus žmogaus svoriui, pripylus į vamzdį vandens sulig žmogaus augščiu.

Demonstruoti tam faktui, kad spaudimas į dugną tepareina tik nuo dugno ploto ir nuo skysčio stulpo augščio, — vartojamas Weinhold'o aparatas (žiūr. 14 pieš.) Tas aparatas susideda iš pirmos rūšies svirties, ant kurios vieno galo pakabinta lėkštelė, o ant kito galo gerai nušlifuotas metalinis skritulys, kuris galima prispausti iš apačios prie cilindrinės mūterkos (įmautės). Į šitą mūterką galima įsukti įvairios formos indus, kaip rodo piešinys. Uždėjus ant lėkštės svorį, sakysime, 200 gramų ir įsukus į mūterką indą, iš abiejų galų nukirsto kūgio pavidalo, mes pilame vandenį, pakol vandens spaudimas perviršys lėkštės ir svorio spaudimą. Įpylę tiek vandens, kad būtų pusiausvyra, mes nustatome ant stiebo iešmutę sulig vandens paviršiumi. Išsukę kūginį indą, mes galime įsukti iš eilės kitos formos indus ir įsitikinti, kad visuose tuose induose vandens stulpas iki iešmutės yra pusiausvyroje, spaudžiant augštyn lėkštei ir uždėtam ant jo svoriui. Pripylus kiek augščiau vandens, tas vanduo nutekės į pastatytą apačioje indą, ir kai pasieks vandens paviršius iešmutės liniją, vėl nusistatys pusiausvyra.



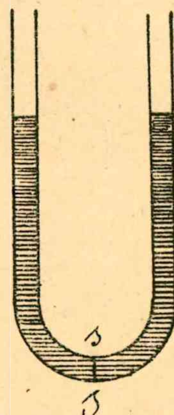
Pieš. 14

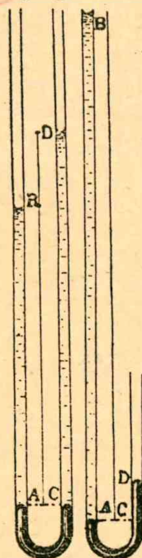
Jeigu mes turime bet kokioj vietoj vandeny, bet kokioj padėty ir bet kokios formos plokštelę, tai hidrostatiniam spaudimui į tą plokštelę apskaityti, reikia žinoti jos plotas ir jos vidutinis gylis (vidutinis atokumas nuo skystimo paviršiaus). Šitą vidutinį augštį reikia visuomet skaityti nuo plokštelės masės, arba svorio, centro, nes masės centras yra didžiausias simetrijos taškas kiekvienam kūnui. Vadinas, surasti taškui, nuo kurio reikia skaityti vidutinis gylis, reikia padaryti toks pat apskaitymas, arba toks pat bandymas, kaip ir masės centrui surasti. Jeigu plokštelė yra geometriškai taisyklingos formos, tai jos masės centras sutampa su geometrijos centru. Savaime aišku, kad skystimo vidury mes galime įsivaizduoti sau plokštelę bet kokioj padėty ir apskaityti hidrostatiniam spaudimui į tą įsivaizduotą plokštelę pritaikinti tai, kas augščiau pasakyta.

Atskirus plokštelės paviršiaus elementus, spaudimas veikia statinai. Taigi visus tuos spaudimus, veikiančius lygiagrečiomis linijomis, mes galime pamainyti vienu atstojamuoju spaudimu, laikydamiesi lygiagrečių jėgų sudėties taisyklės, ir surasti to atstojamojo spaudimo pridėjimo (pridedamąjį) tašką. Tas taškas vadinasi spaudimo centras ir jo vieta plokštelėje arba kūne visuomet sutampa su plokštelės arba kūno svyravimo, arba oscilacijos, centru. Įsivaizduokime sau keturkampę plokštelę, pastatytą stačiai vandeny; pratęskime vaizduotėje šitą plokštelę iki persikirtimo su skystimo paviršiumi, ir tegu persikirtimo linija bus svyravimo linija. Tokiu atveju plokštelės spaudimo centras, lygiai kaip ir jos svyravimo centras bus ant vidurinės plokštelės linijos atokume $^2/_3$ tos linijos, skaitant nuo jos viršutinio krašto. Tad spaudimo centrui surasti galima pasinaudoti metodais, kurie vartojami svyravimo centrui surasti.

Jeigu mes paimsime indą raidės U pavidalo ir pilsime į jį vandenį ar kitą kokį skystimą, tai toks skystimas abiejose indo dalyse stovės tokio pat augščio (žiūr. 15 pieš.). Įsivaizduokime sau plokštelę ss per indo sulenkimo vidurį. Jeigu ta

plokštelė neslenka nei į vieną, nei į kitą pusę, bet yra parimus, tai hidrostatiniai spaudimai į ją iš abiejų pusių turi būti lygūs ir vienas prieš antrą atkreipti. Hidrostatiniai gi spaudimai gali būti tik tada lygūs, kada vidutinis plokštelės gylis, skaitant nuo jos centro iki skystimo paviršiaus, vienoj ir kitoj indo dalyje bus tas pats. Toksai indas vadinasi susisiekimo indas, ir tokiam inde įpiltas skystimas pasvyravęs užima tą patį augštį abiejose dalyse, nepaisant tų dalių formos, nes, kaip jau mes matėme, hidrostatinis spaudimas nuo indo formos visiškai nepareina. Jeigu mes į tą patį indą iš pradžios įpilsime sunkesnio skystimo, pavyzdžiui, gyvojo sidabro, o paskum į vieną ir kitą šaką indo pilsime, sakysime, vandens, tai gyvojo sidabro paviršius abiejose šakose bus tik tada tokio pat augščio, kada ir vandens stulpai abiejose šakose bus to paties augščio. Jeigu mes į tokį indą (16 piešinys) įpilsime iš pradžių gyvojo sidabro, o paskum tik į vieną šaką tepilsime vandens, tai mes pamatysime, kad vanduo stovės žymiai augščiau negu gyvasai sidabras. Išveskime per gyvojo sidabro paviršių toj indo šakoj, kurioj yra vanduo, plokštę AC. Hidrostatiniai spaudimai gyvojo sidabro į plokštelę per indo sulenkimo vidurį, skaitant nuo plokštelės AC lygio, bus lygūs. Gyvajam sidabrui ir vandeniui parimus, aišku, kad vandens stulpas AB bus atsvertas gyvojo sidabro stulpelio CD. Pažymėsime vamzdžio skerskrodžio plotą raide q, vandens stulpo AB augštį raide h_1 ir gyvojo sidabro stulpelio augštį CD — h_2. Tad vandens stulpo tūris bus h_1q ir jo svoris irgi h_1q; gyvojo sidabro stulpelis bus h_2q ir jo svoris h_2qd, jeigu mes pažymėsime lyginamąjį gyvojo sidabro svorį raide d. Esant pusiausvyrai tarp gyvojo sidabro ir vandens, mes turime $h_1q = h_2qd$. Iš čia $\frac{h_1}{h_2} = \frac{d}{1}$. Vadinas, dviejų įvairių skysčių augščiai susisiekimo inde yra atvirkščiai proporcingi jų lyginamiesiems svoriams, arba jų tankumams. Išmatavę vandens stulpo AB ir gyvojo sidabro stulpo CD augščius, mes konstatuosime, kad vandens stulpas yra 13,6 sykių augštesnis negu gyvojo sidabro stulpas. Tad susisiekimo indai duoda galimumo surasti skysčių lyginamąjį svorį, jeigu tik tie skysčiai neminša arba netirpsta vienas kitame. Jeigu skysčiai minša, tai mes galime iš pradžios įpilti į susisiekimo indą gyvojo sidabro (16 pieš.), kurio paviršius abiejose šakose nusistatys to pat augščio, ir paskum pilti į vieną šaką vieną skystimą, pavyzdžiui, vandenį AB, o į kitą šaką, sakysime, spiritą (spiritas gerai minša su vandeniu, bet čia vanduo ir spiritas bus atskirti gyvuoju sidabru). Įpylę, sakysime, iš pradžios vandens, pilsime į kitą šaką spirito tol, kol gyvasai sidabras abiejose šakose pakils tokio pat augštumo. Iš to, kas augščiau pasakyta, eina, kad spirito stulpas CD bus tiek sykių didesnis už vandens stulpą AB, kiek sykių vandens tankumas yra didesnis negu spirito tankumas.


Pieš. 15

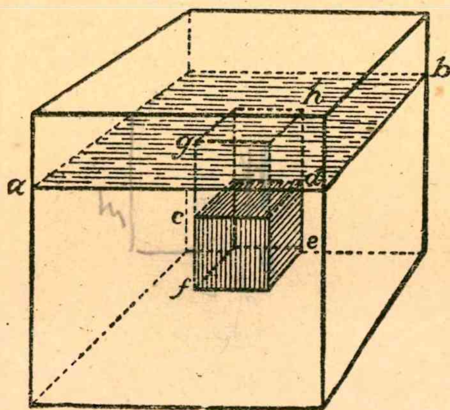


Pieš. 16

Formuluotieji čionai trys pagrindiniai hidrostatikos dėsniai nustatyti XVII šimtmetyje prancūzo Pascal'io (Blaise Pascal 1623—1662 m.), kuris žinomas žmonijai iš vienos pusės kaipo didelis gamtininkas ir fizikos kūrėjas, iš kitos pusės kaipo didelis mistikas. Šitų dėsnių pagalba galima išspręsti visus klausimus apie skysčius pusiausvyroje.

5 §. Archimedo dėsnis ir jo pritaikinimai.

Dabar spręsime klausimą, kokiomis sąlygomis kietas kūnas, panertas vandeny arba kitam kokiam skystime, bus pusiausvyroje. Neriamas kietas kūnas vandenin išstumia tokį vandens tūrį, kuris yra lygus kieto kūno tūriui. Tuo juk naudojamasi kieto kūno tūriui surasti. Paėmus tuščią bandymų vamzdį ir neriant jį į vandenį, reikia suteikti nemaža jėga, kad įstumtum jį į vandenį. Iš čia išeina, kad kietas kūnas vandeny arba kitam skystime atjaučia iš to skystimo pusės spaudimą, atkreiptą prieš jo svorį. Jeigu bandymų vamzdis labai plono stiklo, tai jis nebus išmestas iš skystimo ir laikysis jame tik tada, kada mes pripildysime jį tuo pačiu skystimu kiek augščiau negu panerto band. vamzdžio dalies augštis. Norėdami surasti kieto kūno, esančio skystime, pusiausvyros sąlygas, įsivaizduokime sau indą su bet kokiu skystimu lyginamojo svorio d. Del paprastumo paimsime kietą kūną šeštainio c f e d pavidalo, kurio briaunos yra lygios a centimetrų. Visus šešis šeštainio šonus veikia hidrostatinis spaudimas (pieš. 17). Kad surastume, koks spaudimas veikia kairįjį šoną, mums reikia išmatuoti vidutinis šito šono gilumas, skaitant nuo skysčio paviršiaus. Pažymėsime šitą gilumą raide h_1 ($h_1 = \frac{cf}{2} + cg$). Taigi hidrostatinis spaudimas į šitą šoną bus $h_1 . a^2 . d$ ir veikia šitam šonui statinai. Aišku, kad toks pat spaudimas bus į dešinį šoną, tik bus atkreiptas į priešingą pusę, taip kad atstojamasai šitų dviejų spaudimas bus 0. Aišku taip pat, kad toks pat spaudimas veiks į priešakinį ir užpakalinį šoną, ir tie du spaudimai bus atkreipti vienas prieš kitą, taip kad jų atstojamasis bus 0. Kai del spaudimo į viršutinę šeštainio bazę, tai jis bus lygus $h . a^2 d$, jeigu mes raide h ($h = cg$ arba hd) pažymėsime tos bazės gilumą. Šitas spaudimas bus atkreiptas stačiai žemyn. Kadangi vidutinis gilumas apatinės bazės šeštainio yra $h + a$ ($a = cf = de$), tad hidrostatinis spaudimas į tą apatinę bazę bus $(h+a) a^2 . d$ ir veiks stačiai augštyn. Šitas spaudimas augštyn bus didesnis negu spaudimas žemyn, ir mes turėsime atstojamąjį spaudimą augštyn lygų $(h+a) . a^2 d - h a^2 d = (h+a - h) . a^2 d = a^3 d$. Vadinas, išeina, kad mūsų šeštainis skystime bus įtakoj spaudimo, atkreipto augštyn prieš jo svorį ir lygaus svoriui skystimo, kurį šeštainis išstumia. Žodžiu, kiekvienas panertas skystime kietas kūnas darosi lengvesnis tiek, kiek sveria jo išspaustas arba jo tūryje paimtas skystimas. Mes išvedėm šitą dėsnį šeštainiui. Bet mes galime paimti kūną bet kokios formos. Įsivaizduokime sau tą kūną, padalintą į daugybę mažučių šeštainių, ir pritaikinkim kiekvienam mažučiui šeštainiui augščiau nurodytus samprotavimus. Tai yra padaręs anglas Green'as (žinoma Green'o teorema) ir patvirtinęs matematiniu samprotavimu augščiau paduotą išvadą bet kokios formos kietam kūnui. Nesunku suprasti, kad ta pati išvada turi galios ir skystam kūnui, kuris randasi kitame skystame kūne ir pagaliau to paties skysto kūno atskiroms dalims, pavyzdžiui, kiekviena vandens dalis nustoja tiek svorio, kiek ji sveria ir todel ji laikosi ten, kur ji yra, neslinkdama žemyn ir nekildama augštyn.



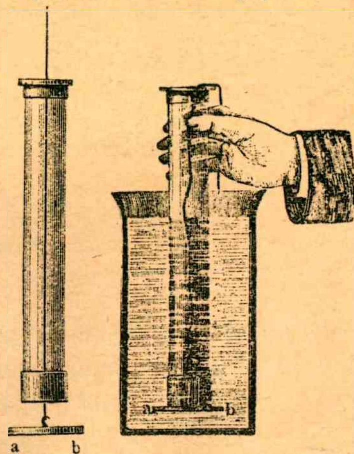
Pieš. 17

Šitoji išvada senai jau žinoma fizikoje kaipo Archimedo dėsnis. Archimedo vardą teko jau mums minėti, kalbant apie svirties dėsnius ir apie begalinį sraigtą. Archimedas (287—212 prieš gimstant Kristui) gimė ir gangreit visą savo amžių praleido Sirakūzuose, Sicilijoj. Tai buvo vienas iš didžiausių ne tik senovės matematikų, bet ir naujųjų laikų matematikų tarpe. Jis yra vienas iš fizikos mokslo kūrėjų. Jis palaikė draugiškus, artimus santykius su Sirakūzų viešpačiu Hieronu, kuris irgi labai domėjosi matematika ir fizika. Tas Hieronas uššakė aukso vainiką, norėdamas pa-

aukoti jį vienai šventyklai. Kada tas vainikas buvo jau pristatytas, jam kilo abejojimų, ar iš gryno aukso vainikas ir ar nepridėta sidabro? Jis prašė Archimedo pagalvoti ir išspręsti šitą klausimą. Archimedas ilgai apie tai mąstė, bet nieko nesugalvojo, taip kad Hieronas pareiškė jam net savo nepasitenkinimą. Vieną kartą, būdamas vanoje, Archimedas atkreipė domės į tai, kas kiekvienam žmogui, kuris yra buvęs vandeny, žinoma, kad kūnas vandeny atrodo lengvesnis, bet į ką paprastai nekreipiama pakankamai domės. Atkreipęs į tai domę, Archimedas tuojau suprato, kaip išspręsti uždavinys apie vainiką ir supratęs taip pradžiugo, jog iššokęs iš vanos nuogas išbėgo į miestą šaukdamas «ευςηκα» (heureka), kas graikiškai reiškia «suradau». Toks bent yra apie tai padavimas.

Supratęs, kad kūnas vandeny nustoja tiek savo svorio, kiek sveria jo išspaustas vanduo, Archimedas atsvėrė vainiką ore ir vandeny, surado tokiu būdu vainiko išspausto vandens svorį ir apskaitė vainiko medžiagos tankumą. Tokiu pat būdu jis nustatė gryno aukso ir sidabro tankumą ir, sulyginęs vainiko tankumą su aukso ir sidabro tankumu, išsprendė Hierono klausimą ta prasme, kad pristatytas jam vainikas ne iš gryno aukso, bet maišyto su sidabru. Tokia tai istorija šito hidrostatikos dėsnio.

Taigi kiekvienas kūnas, panertas į vandenį, atjaučia spaudimą augštyn, kuris yra lygus to kūno vandens išspausto svoriui. Šitą spaudimą augštyn galima demonstruoti atviro iš abiejų galų stiklinio cilinderio pagalba (žiūr. 18 pieš.), gerai nušlifuotais krantais ir gerai nušlifuotu skrituliu ab, kuris siūlo pagalba gali būti prispaustas prie apatinės cilinderio skylės. Įpylus į didesnį stiklo indą vandens, pritraukus su siūlu skritulį prie apatinio cilinderio galo ir įmerkus cilinderį į vandenį skritulys nekris žemyn, bet tvirtai laikysis. Čia mes turime hidrostatinį spaudimą, kuris gali būti išreikštas reiškiniu hq gramų, jeigu mes skritulio plotą pažymėsime raide q (cm^2), o skritulio vidutinį gilumą, skaitant nuo vandens paviršiaus, raide h (cm). Ir iš tikrųjų, mes galime į cilinderį pilti vandenį sulig vandens lygiu išoriniame inde, ir skritulys nekris žemyn. Kaip tik mes pripilsime šiek tiek daugiau vandens, taip kad vanduo cilindery pakils augščiau kaip išoriniame inde, tai hidrostatinis spaudimas žemyn pasidarys didesnis negu spaudimas augštyn, ir skritulys ab nudribs ant indo dugno. Tad ir šitas eksperimentas rodo, kad spaudimas augštyn į kūną, panertą į vandenį, yra lygus to kūno išspausto vandens svoriui (mūsų eksperimente vandens, išspausto cilinderio panertąja dalimi). Tuo pačiu laiku šitas eksperimentas rodo mums, kad panertas vandeny kūnas spaudžia tokia pat jėga žemyn(lygia išspausto vandens svoriui) į vandenį, kas tiesioginai išeina iš 3 Newton'o dėsnio akcijos ir reakcijos lygybės.



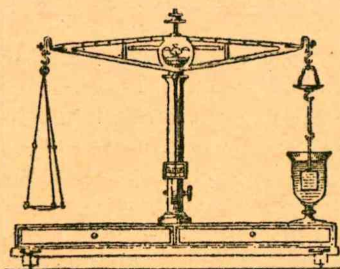
Pieš. 18

Mokslo srityje svarbiausį pritaikinimą Archimedo dėsnio mes matome įvairiose priemonėse ir metoduose lyginamajam kūnų svoriui surasti. Priminsime čionai, kad vartodami metrinę matų sistemą, mes kūnų tankumui, ar tirštumui (materijos kiekis kūno tūrio vienete — kūno masingumo mastas), ir kūno lyginamajam svoriui (santykis tarp kūno ir to paties tūrio vandens svorių — skaičius, kuris rodo, kiek sykių kūnas yra masingesnis arba lengvesnis negu vanduo) gauname tuos pačius skaičius, nes masės vienetų metrinėje sistemoje yra metrinio tūrio vieneto vandens masė 4°C temperatūra. Visas skirtumas tik tas, kad tankumas bus išreikštas daiktiniu skaičiumi (tiek ir tiek gramų vienam kūbiniam centimetre), o lyginamasai svoris bedaikčiu skaičiumi. Be to dar, tarp kūnų tankumo ir jų lyginamojo svorio veikia toks pat santykis, kaip tarp masės ir svorio, būtent, $p = mg$, jeigu mes raide p pažymėsime kūno svorį, raide m jo masę ir raide g žemės greitėjimą. Tad $m = \frac{p}{g}$ (išreiškiant

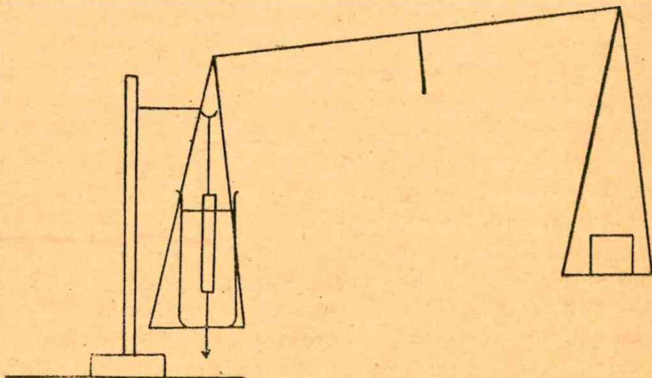
absolutiniais vienetais) ir $d = \frac{s}{g}$, jeigu mes pažymėsime kūno tankumą raide d ir kūno lyginamąjį svorį raide s. Kadangi mes paprastai vartojame tą patį vienetą, būtent, gramą, taip masėms taip ir svoriams palyginti, tad ir išeina tie patys skaičiai šitiem dviem dydžiam. Bet išreiškiant svorį, kaipo jėgą, dinomis, o ne gramais, masių skaičiai visuomet bus g sykių mažesni negu svorių skaičiai.

Pasipažinsime dabar su įvairiais metodais kietų ir skystų kūnų lyginamajam svoriui surasti, kurie visi remiasi Archimedo dėsniu. 19 piešinys atvaizduoja vadinamas hidrostatines svarstykles. Jos skiriasi nuo paprastų svarstyklių tik tuo, kad viena jų lėkštė pakabinta žymiai augščiau negu kita, bet taip, kad abidvi lėkštės būtų pusiausvyroj nesant ant jų svoriams. Pakabinsime ant plono siūlo, ant augštesnės lėkštės kabelio kokį nors kietą kūną, kuris netirpsta vandeny ir nedaro su vandeniu chemiškų reakcijų, ir uždėsime ant kitos lėkštės tiek pasvarėlių, kad būtų pusiausvyra. Tuo būdu mes surasime mūsų kūno svorį ore p gramų. Paskum paimsime stiklo indą su vandeniu ir pakišime jį iš apačios taip, kad visas kūnas atsidurtų vandeny. Archimedo dėsniu einant kūną veiks spaudimas augštyn, lygus jo išspausto vandens svoriui, ir kūnas tieku palengvės. Lėkštė, ant kurios kaba kūnas, pakils augštyn, o lekštė su pasvarėliais nusileis. Norint atstatyti pusiausvyrą ant lėkštės, ant kurios kaba kūnas, reikia pridėti tiek pasvarėlių, kiek sveria kūno išspaustas vanduo, sakysime, p_0 gramų. Tad lyginamasai mūsų kūno svoris $s = \frac{p}{p_0}$ gr. Darant tokius bandymus reikia atsiminti, kad vanduo yra maksimalio tankumo esant 4° C temperatūrai ir todel reikia visuomet pažymėti vandens temperatūra, kad, reikalui esant, galima būtų apskaityti lyginamasis kūno svoris iš vandens maksimalio tankumo temperatūros. Be to dar, tiksliai nustatant lyginamąjį svorį, reikia atsiminti, kad visi kūnai nustoja šiek tiek savo svorio ne tik skystimuose, bet ir dujose ir, vadinas, ore. Tad sveriant ore, reikalingos pataisos svorio sumažėjimui ore einant Archimedo dėsniu, nes pasvarėlių tūris ir kūnų tūris dažniausiai nevienodi. Kada kūno tūris ir svarelių tūris yra vienodi, tada tokios pataisos, žinoma, nereikalingos.

Tas pats metodas gali būti pritaikintas ir surasti lyginamajam svoriui tokių kūnų, kurie tirpsta vandeny, arba kurie chemiškai reaguoja su vandeniu. Tokiais atvejais vietoj vandens reikia paimti kitą kurį skystimą, pavyzdžiui, žibalą, spiritą ir t. t., kuriame kūnas netirpsta ir kuriame jis nereaguoja, ir nustatyti kūno lyginamasis svoris iš šito skystimo, nes Archimedo dėsnis veikia visiems skysčiams. Paskui reikia surasti pavartoto skystimo lyginamasai svoris iš vandens ir remiantis tais daviniais apskaityti lyginamasai kūno svoris vandens atžvilgiu.



Pieš. 19

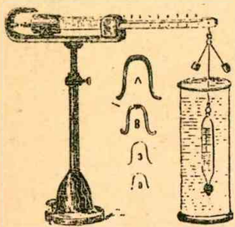


Pieš. 20

Antras metodas kietų kūnų lyginamajam svoriui surasti remiasi tuo faktu, kad ir kūnas, panertas į vandenį, spaudžia vandenį žemyn tokia jėga, kuri yra lygi kūno išspausto vandens svoriui. Paimsime paprastas svarstykles (žiūr. 20 pieš.). Uždėsime ant vienos lėkštės stiklą su vandeniu, o ant kitos lėkštės tiek pasvarėlių,

kad būtų pusiausvyra. Pakabinsime ant siūlo kietą kūną ir įleisime jį į vandenį taip, kad jis iš visų pusių būtų apsiaustas vandeniu. Dabar kūnas spaus į vandenį, ir ta lėkštė, ant kurios stovi indas su vandeniu, nusileis žemyn. Tad ant kitos lėkštės reikia uždėti tiek pasvarėlių, kiek sveria kūno išspaustas vanduo, kad atstatytum pusiausvyrą. Jeigu prieš tai kūnas buvo atsvertas ore ir jo svoris p gramų, o pridėti pasvarėliai sveria p_0 gramų, tad lyginamasai svoris $s = \frac{p}{p_0}$.

Skysčio spaudimas į panertą į jį kūną yra padėtas pagrindan Mohr'o-Westfahl'io svarstyklių, kurios yra labai patogios, greitai surasti lyginamajam įvairių skysčių svoriui (žiūr. 21 pieš.). Tų svarstyklių štatyvas susideda iš tuščio cilinderio ir cilinderio stiebo, kuris sklandžiai įeina į tuščią cilinderį ir sraigto pagalba gali būti priveržtas augštesnėj ar žemesnėj padėty. Ant šito stiebo randasi plotmė, ant kurios svyruoja svirtis. Vienas tos svirties galas storesnis negu kitas, del to storesnioji svirties dalis yra sunkesnė. Lengvesnė dalis (dešinysis svirties petis piešiny) yra padalyta į 10 dalių, skaitant nuo svirties svyravimo ašies. Svarbią Mohr'o-Westfahl'io svarstyklių dalį sudaro vadinamoji plūdė, dažniausiai stiklinis, tuščiu viduriu, cilinderis, kurio apatinis galas yra rutulio pavidalo, arba formos. Rutulys pripiltas gyvojo sidabro. Be to dar, vidury cilinderio randasi termometras skysčio temperatūrai žymėti. Svoris šitos plūdės su plonu metaliniu siūlu toks, jog, prikabinus ją su kabliuku prie dešiniojo svirties peties galo, — svirtis ore bus pusiausvyroje. Kad galėtumėm akim konstatuoti pusiausvyrą, ant kairiojo (sunkesnio) svirties peties galo randasi štiftas ir toks pat štiftas randasi ant užriesto plotmės galo. Svirtis yra pusiausvyroje, kada vienas štiftas ir kitas štiftas savo aštrumais atsistoja vienas prieš kitą toj pačioj lygumoj, su ta, tačiau, sąlyga, kad štatyvas, ant kurio randasi plotmė, stovi stačiai, vertikaliai. Kad gautum tokią padėtį, pakabinę ore ant dešiniojo svirties peties kabliuko plūdę, mes sraigto pagalba, kuris randasi ant štatyvo bazės, galime gauti tokią padėtį, kad svirtis nusistatytų gulsčiai (vadinas, štatyvas statinai). Prie Mohr'o-Westfahl'io svarstyklių yra pasvarėlių rinkinys nedidelių lankų, arba reiterių, pavidalo. Du didesni reiteriai yra vienodo svorio, reiteris B — 10 sykių lengvesnis negu reiteris A, reiteris C—100 sykių lengvesnis ir pagaliau reiteris D—1000 sykių lengvesnis. Pakabinę ant dešiniojo svirties peties kabliuko plūdę ir nustatę pusiausvyrą ore, mes svarstyklėms patikrinti pakišame iš apačios po plūde cilindrinį stiklą su distiliuotu vandeniu taip, kad visa plūdė iki metalinio siūlo pradžios būtų panerta vandenin. Vandens spaudimas augštyn, lygus plūdės išspausto vandens svoriui, pakels dešinį svirties petį augštyn, o kairįjį petį palenks žemyn. Norint atstatyti pusiausvyrą ant kabliuko, ant kurio kaba plūdė, reikia dar užkabinti vienas iš dviejų didžiųjų reiterių A. Jeigu tai padarę mes gausime pusiausvyrą, tai mes galime skaityti, kad didysis svoris, užkabintas ant dešimto dešiniojo peties padalinimo, atatinka vienetui, arba vandens lyginamajam svoriui. Vadinas, pakabinę tą patį reiterį ant 9, 8, 7 ir t. t. padalinimų, mes turėsime 0,9, 0,8, 0,7 ir t. t. šito reiterio vandeninės vertės. Norint surasti lyginamasai svoris lengvesnių, negu vanduo, skystimų, pavyzdžiui, žibalo, mes išpilame iš cilindrinio stiklinio indo vandenį, išdžioviname jį ir pripilame žibalo. Pakišus jį po plūde taip, kad jis visas iki metalinio siūlo pradžios atsidurtų žibale, mes dedame didįjį reiterį A iš eilės ant 9, 8, 7 padalinimų ir pagaliau paliekame jį ant tokio padalinimo, prie kurio veikiantis ant dešiniojo svirties peties jėgos momentas truputį bus mažesnis negu veikiantis ant kairiojo peties jėgos momentas, kitaip sakant, taip, kad dešinysis petis būt truputį pakilęs augštyn, o kairysis truputį nusileidęs žemyn. Tegu tai bus 8 padalinimas. Toliau mes imame dešimt sykių lengvesnį reiterį B, kuris pakabintas ant 10 padalinimo reikštų dešimtą dalį didelio reiterio A. Su tuo reiteriu B mes elgiames taip pat, kaip su reiteriu A. Tegu, pakabinus šitą reiterį ant trečio padalinimo, dešinysis svirties petis vėl

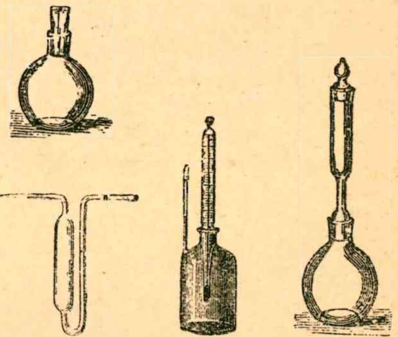


Pieš. 21

truputį bus pakilęs augštyn gulsčios padėties atžvilgiu. Mes imame tada trečiąjį reiterį C, kuris yra 10 sykių lengvesnis negu B ir 100 sykių lengvesnis negu A. Sakysime, kad, pakabinus šitą reiterį ant penkto padalinimo, mes atstatome svirties pusiausvyrą, tad lyginamasis svoris žibalo bus 0,835, esant tai temperatūrai, kurią rodo plūdės termometras. Jeigu mums reikia nustatyti lyginamasai svoris skysčių, sunkesnių negu vanduo, vadinas, didesnis negu vienetas, tai mes išsyk kabiname ant to paties kabliuko, kur kaba plūdė, vieną iš didžiųjų reiterių A ir su kitais reiteriais elgiamės kaip augščiau parodyta.

Mohr'o-Westfahl'io svarstyklės yra tuo patogios, kad jų pagalba galima nustatyti greitai lyginamasai svoris įvairių įvairiausių skysčių, nes labai mažai tokių skysčių, kurie chemiškai veikia stiklą.

Skysčio lyginamajam svoriui surasti vartojami piknometrai (žiūr. 22 pieš.). Piešinys atvaizduoja įvairios formos piknometrus. Paprasčiausias piknometras tai yra stiklo indas, nedidelio buteliuko arba nedidelės kolbos pavidalo, su gerai nušlifuotu stiklo kamščiu, per kurį eina siauras kanalas (viršutinė pieš. figūra). Norint surasti lyginamasis kokio nors skysčio svoris, reikia atsverti piknometras su kamščiu. Tegu jo svoris bus P_0 gramų. Paskui pripilti piknometras tiriamo skysčio truputį augščiau tos vietos, kur prasideda piknometro kaklas, ir įkišti nušlifuotą kamštį. Dalis skystimo ištekės per kamščio kanalą. Nušluosčius, piknometras su skystimu sveriamas. Tegu jo su skystimu svoris bus P_1 gramų, tad skystimas sveria $P_1 — P_0$ gramų. Pagaliau skystimas reikia išpilti iš piknometro, išplauti jį su kitu skystimu, kuriame pirmasai tirpsta. Paskui išplauti su distiliuotu vandeniu ir pripilti piknometrą distiliuoto vandens truputį augščiau tos vietos,kur prasideda jo kaklas. Užkimšdami kamščiu, mes išspausime dalį vandens ir turėsime vandenį to paties tūrio, kaip bandomas skystimas. Tegu atsvėrę rasime, kad piknometras su vandeniu sveria P_2 gramų. Tad vanduo to paties tūrio, kaip bandomas skystimas, sveria $P_2 — P_0$ gr. ir lyginamasai svoris bandomojo skystimo bus $s = \frac{P_1 - P_0}{P_2 - P_0}$. Kita piknometro forma atvaizduota iš dešinės piešinio pusės. Šitas piknometras turi kamštį stiklinio vamzdžio pavidalo, platesnio viršutinėje dalyje ir apatinėje dalyje ir susiaurinto vidurinėje dalyje. Apatinė dalis gerai nušlifuota, kad hermetiškai įeitų į piknometro kaklą. Susiaurinta dalis dažniausiai vidury turi įbrėžtą diemantu račiuką ir pagaliau viršutinę vamzdžio dalį galima užkišti nušlifuotu stiklo kamščiu. Bandomas skystimas pilamas čionai iki buteliuko (piknometro kaklo kranto). Įdedant kamštį - vamzdį mes išspausime dalį skystimo, taip kad dažniausiai skystimo lygis bus augščiau įbrėžto ant siauro vamzdžio kaklo račiuko. Siauro filtruojamo popieriaus lapelio pagalba atsargiai, pamaži galima nuimti skystimo kaupą taip, kad skystimo lygis stovėtų ties įbrėžtu račiuku. Užkišus vamzdį kamščiu, elgiamasi kaip augščiau pasakyta.



Pieš. 22

Ieškant skysčių lyginamasai svoris, reikia pažymėti temperatūra, esant kuriai skystis sveriamas, nes kartu su temperatūra kinta skysčio tūris, o tankumas visuomet yra atvirkščiai proporcingas skysčio tūriui. Kad nereikėtų atskirame inde matuoti skysčio temperatūra, vartojamas piknometras, atvaizduotas 22 piešinio vidury. Tai yra buteliukas, užkišamas termometru, suteikus termometrui žemėliau jo vidurio nušlifuoto stiklinio kamščio pavidalą. Be to, buteliukas (piešiny iš kairės pusės) turi prilydytą stiklinį vamzdį su įbrėžtu per vidurį šito vamzdžio račiuku. Ant šito vamzdžio galo galima užmauti stiklinė skrybėlėlė. Į šitą piknometrą visuomet pilama skystimo tiek, kad jo lygis stikliniame vamzdyje visuomet būtų ties įleistu ra-

čiuku. Patogumas šito piknometro tas, kad sveriant skystimą galima apskaityti jo temperatūrą.

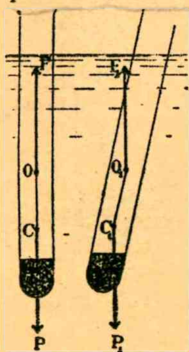
Pagaliau iš kairės 22 piešinio pusės atvaizduotas profesoriaus Ostwald'o piknometras pavidalo U—vamzdžio, kurio viena dalis žymiai didesnio diametro negu kita dalis. Užmovus ant didesniojo, gulsčiai užlenkto, piknometro galo kaučiuko vamzdį ir panėrus jo kairįjį snapą į bandomą skystimą, mes patogiai ir lengvai galime pritraukti į šitą piknometrą tiek skystimo, kiek reikia, būtent: iki tam tikrų ženklų, įbrėžtų ant dešiniojo siaurojo piknometro vamzdžio. Savaime aišku, kad sveriant tokį piknometrą reikia pakabinti jį viršum svarstyklių lėkštės ant plonos vielutės.

Tais atvejais, kada reikia surasti lyginamasai svoris kieto kūno, kurio kiekis yra labai mažas arba kuris yra miltelių pavidalo, vartojamas irgi piknometras, nes tik su piknometru ir su precizijos svarstyklėmis mes galime nustatyti mūsų kieto kūno dalelių išspausto vandens tūrį; tokiais atvejais mes atsveriame ant precizijos svarstyklių mažą gabalėlį arba miltelių žiupsnelį bandomojo kieto kūno. Tegu jo svoris bus p gramų. Paskui surandame tuščio piknometro svorį P_0 gramų ir pripilto iki tam tikrų bruožų, arba ženklų, distiluoto vandens to paties piknometro svorį P. Nuėmę piknometrą nuo svarstyklių, mes metame į jį kieto kūno gabalėlį arba leidžiame kieto kūno miltelius, kurie išspaudžia tam tikrą vandens tūrį taip, kad vandens lygis piknometre pasirodo augščiau ženklo, arba bruožo. Nuėmus augščiau nurodytu būdu vandens kaupą, piknometras su vandeniu ir kietu kūnu vėl sveriamas. Tegu tas svoris bus P_1 gramų. Iš čia mes apskaitome, kad vanduo piknometro tūryje sveria $P - P_0$ gramų, o pridėjus kietą kūną bus $P - P_0 + p$ gramų. Vanduo gi ir kietas kūnas, užimdami piknometro tūrį, sveria $P_1 - P_0$ gr. Taigi išspaustas kieto kūno vanduo sveria $P - P_0 + p - (P_1 - P_0) = P - P_1 + p$ gramų, ir mes turime $s = \frac{p}{P - P_1 + p}$. Iš čia išeina, kad piknometru galima naudotis kaipo voluminometru, būtent, kaipo aparatu mažų kūno gabaliukų tūriui surasti.

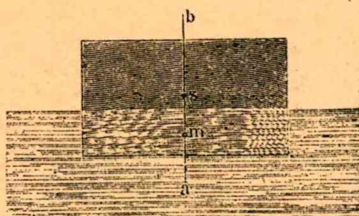
6 §. Plaukiojančių kūnų pusiausvyra.

Tegu kietas kūnas sveria P gramų. Tegu panertas į vandenį jis nustoja p gr. savo svorio. Jeigu $P >$ negu p, tai kūną veiks atstojamoji jėga $P - p$, atkreipta žemyn, ir kūnas nuskęs ant indo dugno. Jeigu P lygus p, tai atstojamoji dviejų jėgų, būtent, kūno svorio ir vandens spaudimo augštyn, bus lygi 0, ir kūnas, panertas į vandenį, bus neutralės pusiausvyros padėty ir tūrėsis vandeny. Pagaliau jeigu $P < p$, tai atstojamoji jėga $P - p$ turės neigiamą ženklą, reiškia, veiks augštyn, ir kūnas bus išstumtas ant vandens paviršiaus. Paprastai mes kalbame apie kūno plaukiojimą, kada kūnai tūrisi vandeny, pasinėrę jame mažesne arba didesne savo tūrio dalimi. Tegu kūnas sveria P gramų, o vandeny randasi, sakysime, pusė kūno tūrio. Tad, pažymėję kūno tūrį raide V, mes turėsime kūno vandens išspaustą svorį $\frac{V}{2}$ gramų ir šitas vandens svoris bus lygus kūno svoriui P gramų. Vadinas, vanduo, paimtas visu kūno tūriu, svers šituo atveju 2 P gr., ir mūsų kūno lyginamasai svoris bus $S = \frac{P}{2P} = \frac{1}{2}$. Pažiūrėsime dabar, kokios pusiausvyros sąlygos kietam kūnui, kurio tik dalis panerta į vandenį. Jeigu mes paimsime stiklinį bandymų vamzdį ir panersime jį stačiai į vandenį, tai pusiausvyros nebus. Bandymų vamzdis bus išstumtas iš vandens ir parvirs ant šono. Jeigu mes norime, kad bandymų vamzdis stačias laikytųsi vandeny, tai reikia jį apsunkinti, pripylus į jį šatrų arba, dar geriau, gyvojo sidabro ir tuo būdu pažeminus kuo labiau tojo vamzdžio masės centro padėtį. Tokiomis aplinkybėmis bandymų vamzdis, panertas į vandenį, stovės stačiai (žiūr. 23 pieš.). Tąjį mūsų vamzdį veikia dvi jėgos, būtent: jo svoris, kurio pridėjimo taškas bus taške C—

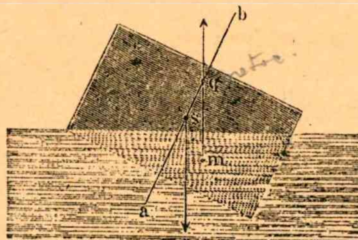
vamzdžio masės centre. Šita jėga veikia stačiai žemyn ir, vadinas, stengiasi įtraukti mūsų vamzdį į vandenį kuo giliau. Bet tuo pačiu laiku vamzdį veikia vandens spaudimas stačiai augštyn. Norint surasti šitos spaudimo jėgos augštyn pridedamąjai taškas, reikia surasti išspausto vamzdžio vandens masės centro padėtis. Aišku, kad tas taškas, kaipo didžiausias simetrijos taškas, bus pačiam vidury vandens stulpo, arba vandens cilinderio, kuris yra lygus panertos bandymų vamzdžio dalies tūriui. Tai bus taškas O. Taigi svorio jėga veikia taške C žemyn, o vandens spaudimo jėga veikia ta pačia statine linija augštyn taške O. Aišku, kad tik esant toms jėgoms lygioms bandymų vamzdis bus pusiausvyroje. Taškas O vadinasi vandens spaudimo centru. Pakreipkime dabar mūsų vamzdį, sakysime, į dešinę pusę. Vamzdžio masės centro padėtis nepakitės, bet vandens spaudimo centro padėtis pakitės, nes dabar didesnė dalis bandymų vamzdžio bus vandeny, ir todel tojo vamzdžio svorio jėga ir vandens spaudimo jėga veiks dabar jau nebe ta pačia linija, nors ir lygiagrečiomis statinėmis kryptimis. Taigi mes dabar turėsime porį lygiagrečių, bet atkreiptų į priešingas puses, jėgų: vieną veikiančią taške C žemyn, kitą veikiančią taške O augštyn, ir iš piešinio aišku, kad šitų jėgų poris suka vamzdį į jo statinę pirmykščią padėtį. Bandymų vamzdis pasvyruos ir pagaliau užims vėl statinę (vertikalinę) padėtį. Taigi čia mes turime pastovios pusiausvyros sąlygas, spaudimo centrui esant augščiau negu masės centras. Mes galime pasakyti, kad visuomet, kada spaudimo centras bus augščiau negu masės centras — toks kūnas skystime bus pastovioj pusiausvyroj. Bet tai nėra dar būtina pastovios pusiausvyros sąlyga, nes yra atsitikimų, kada kūnas skystime randasi pastovios pusiausvyros padėty, nepaisant to, kad to kūno musės centras randasi augščiau negu skystimo spaudimo centras. Paimsime medinį keturkampį stulpelį ír panersime jį į vandenį taip, kad jis gulėtų ant savo ilgojo šono (žiūr. 24 ir 25 pieš.). Paprastai medžio lyginamasai svoris sudaro $\frac{1}{3}$, ir todel mūsų stulpelis parims vandeny, pasinėręs $\frac{1}{3}$ savo tūrio. Stulpelio masės centras bus taške s (pačiam stulpelio vidury), o spaudimo centras bus taške m, pačiam išspausto vandens paralelopipedo vidury. Taigi čia spau-



Pieš. 23



Pieš. 24



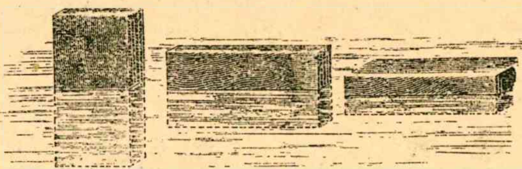
Pieš. 25

dimo centras bus žemiau negu masės centras, o tačiau mūsų stulpelis bus pastovioj pusiausvyroj. Iš tikrųjų, pasukę mūsų stulpelį iš kairės į dešinę pusę, mes nepakeisime jo masės centro s padėties, nes masės centro padėtis pareina tik nuo stulpelio formos ir nuo medžiagos paskirstymo jame. Bet spaudimo centro m padėtis pakitės, nes išspausto vandens tūris ir forma pakitės. Taškas m bus dabar dar žemiau ir labiau pasistums į dešinę pusę, nes iš šitos pusės bus didesnė vandens masė. Nepaisydamas to, mūsų stulpelis pasvyravęs vėl sugrįš į savo pirmykščią padėtį ir atsiguls ant ilgojo šono. Taigi mes čia turime pastovią pusiausvyrą. Čia irgi veikia dvi jėgos: viena taške s stačiai žemyn (svorio jėga), kita taške m stačiai augštyn (vandens spaudimo jėga). Pratęskime spaudimo jėgos statinę liniją iki persikirtimo su pirmykščia stulpelio statine linija ab jos naujoj padėty (arba iki persikirtimo su statine simetrijos linija). Sakysime, kad spaudimo linija perkirto šitą liniją taške q. Į šitą tašką mes galime perkelti spaudimo jėgos pridedamąjį tašką ir tada bus aišku,

kad mūsų stulpelis bus įtakoj porio jėgų, kurios suks stulpelį ta prasme, kad grąžintų jį į pirmykščią padėtį. Taškas q pirmykščios statinės linijos naujoj padėty ir statinio spaudimo linijos (persikirtimo taškas) vadinasi metacentras. Taigi mes galime pasakyti, kad jeigu metacentras randasi augščiau masės centro, tai kūnas, panertas dalimi į vandenį, bus pastovios pusiausvyros padėty. Jeigu gi metacentras randasi žemiau masės centro, tai kūnas bus nepastovios pusiausvyros padėty ir, paveikus mažiausiam impulsui, apsivers ir atsidurs tokioj padėty, esant kuriai masės centras paslinks kuo daugiau žemyn, o metacentras pakils. Kada metacentras ir masės centras sutampa, tai mes turime beskirčią, arba neutralinę, pusiausvyrą, kaip, pavyzdžiui, rutulio, perpus panerto į vandenį ir tokioj padėty plaukiojančio.

Čia paduota pastovios pusiausvyros sąlyga turi bendros reikšmės. Reikia tik atsiminti, kad būna atsitikimų, kada kūne, plaukiojančiame vandens arba kito kokio skystimo paviršiumi, negalima surasti metacentras, o tačiau kūnas gali būti pastovioj pusiausvyroj.

Plaukiojančio kūno pusiausvyros sąlygos yra gan painus uždavinys hidrostatikoje, bet sprendžiant šitą uždavinį, sakysime, statant garlaivius pirmiausia turi būti išspręstas klausimas relatyvios padėties šitų trijų pagrindinių taškų: masės centro, spaudimo centro ir metacentro. Taip pat kraunant krovinius į garlaivį reikia daboti, kad masės centras būtų kuo žemiau, o metacentras kuo augščiau, nes tik tada mes turėsime užvis labiau pastovią pusiausvyrą. Slenkant gi metacentrui žemyn, o ypač atsidūrus žemiau masės centro, garlaivis del mažiausios priežasties gali apsiversti.



Pieš. 25a

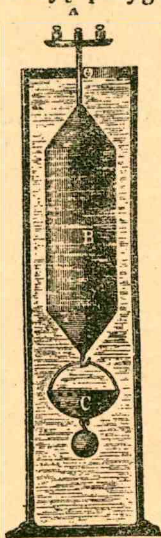
Piešinys 25a rodo medžio stulpelį, plaukiojantį vandens paviršium trijose padėtyse. Iš to, kas augščiau pasakyta, aišku, kad stulpelio pusiausvyra statinėj padėty (kairioji piešinio pusė) bus užvis mažiau pastovi, o gulsčioj padėty ant didžiojo šono bus užvis labiau pastovi, nes pirmoj padėty spaudimo centras bus užvis žemiau masės centro atžvilgiu, o antroj padėty bus užvis arčiau prie masės centro.

7 §. Areometrai.

Pasipažinę su plaukiojančių kūnų pusiausvyros sąlygomis, aprašysime čia dar vieną metodą kietų ir skystų kūnų lyginamajam svoriui nustatyti, kuris remiasi plaukiojimo dėsniais.

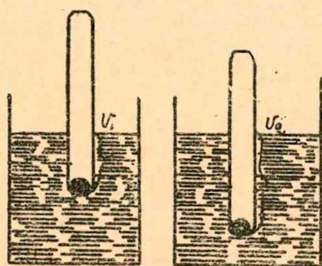
26-s pieš. atvaizduoja vadinamąsias hidrostatines Nicholsono svarstykles. Tą aparatą sudaro misinginis arba stiklinis cilinderis B su dviem kūgių pavidalo galais. Viršutinis galas baigiasi stiebu su lėkšte A. Ant stiebo vietoje O yra ženklas štifto pavidalo. Ant apatinio galo, ant kablelio, kaba krepšiukas C su apskritomis skylelėmis, nelyginant sietas, ir su dangčiu. Paėmę augštą stiklo cilinderį ir pripylę jį vandens, įmerksime cilinderį B su krepšiu į vandenį. Jis plaukios ir paprastai iš vandens išeis jo viršutinis galas (viršutinio kūgio dalis). Paimsime nedidelį gabaliuką kokio nors kieto kūno ir uždėsime ant lėkštės. Cilinderis B pasiners vandeny truputį žemiau. Uždėsime ant lėkštės tiek pasvarėlių P gramų, kad cilinderis pasinertų vandeny iki linijos (ženklo O). Sakysime, kad mūsų kietas kūnas sveria x gramų, o cilinderis su lėkšte ir krepšiu sveria Q gramų, tad mes turėsime $x + P + Q = V$. Raide V čia mes žymime cilinderio B ir krepšio C išspausto vandens tūrį, vadinasi, ir svorį, nes vandens tankumas yra vienetas. Aišku, kad parašyta lygtis išreiškia Archimedo dėsnio veikimą. Kad cilinderis B su krepšiu būtų vandeny pastovioj pusiausvyroj ir statinėj padėty, reikia, kad jo masės centras būtų kuo žemiau ir kad spaudimo centras būtų augščiau masės centro. Nuimsime dabar nuo lėkštės mūsų kietąjį kūną ir į jo vietą pridėsime ant lėkštės tiek pasvarėlių p, kad cilinderis B

su krepšiu vėl pasinertų vandeny iki linijos O. Vėl mes turime: $p + P + Q = V$. Sudėję palyginti paskutinę lygtį su pirmąja, mes rasime, kad paimtas mūsų kūnas


Pieš. 26

sveria p gramų. Taigi Nicholsono svarstyklės duoda galimumo surasti kieto kūno svorį, ir reikia pažymėti, kad tai yra jautrokos svarstyklės. Norint surasti kieto kūno lyginamąjį svorį, reikia dar surasti, kiek sveria to kūno išspaustas vanduo. Todel išimsime iš vandens aparatą, įdėsime mūsų kūną į krepšį ir vėl įmerksime į vandenį, uždengę krepšiuką dangčiu (tas reikalinga ypač tais atvejais, kada paimtasis kūnas yra lengvesnis už vandenį, nes be dangčio kūnas būtų išmestas iš krepšiuko augštyn). Uždėjus ant lėkštės vėl P gramų, reiks pridėti dabar ant lėkštės tiek gramų, kiek sveria kieto kūno išspaustas vanduo, nes kietas kūnas vandeny sveria tieku mažiau, kiek sveria jo išspaustas vanduo. Sakysime, reikia pridėti p_1, tad mūsų kieto kūno lyginamasai svoris $s = \frac{p}{p_1}$.

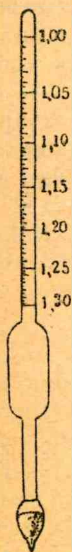
Šitas aparatas vadinasi dar Nicholsono areometras, arba nuolatinio tūrio areometras, nes vartodami jį mes visuomet įmerkiame jį į vandenį iki tam tikro ženklo (visuomet tą patį areometro tūrį). Savaime aišku, kad šituo areometru galima pasinaudoti skystimų lyginamajam svoriui nustatyti (areometras, iš graikų kalbos, reiškia — svarumo matuotojas, ir paprastai areometrais mes vadiname aparatus lyginamajam svoriui nustatyti). Kad surastume lyginamąjį svorį, sakysime, spirito, mes pripilame stiklo cilinderį spirito, įleidžiame areometrą į spiritą ir uždedame tiek pasvarėlių, kad areometras pasinertų spirite iki ženklo O (čia galime apsieiti ir be krepšio). Tegu pats areometras sveria q gramų ir tegu uždėta ant lėkštės p gramų, tad $q + p = v \,.\, s$. Čia v reiškia areometro išspaustą spirito tūrį, o s — spirito lyginamąjį svorį. Išpylę spiritą, išskalavę stiklo indą, įmerkiame areometrą į vandenį ir uždedame ant lėkštės tiek pasvarėlių, kad areometras pasinertų iki linijos O. Sakysime, kad mums teko uždėti p_1 gramų. Tad $q + p_1 = v$ (v — išspausto vandens tūris, vadinasi, ir svoris). Taigi, padalijęę pirmąją lygtį antrąja, mes rasime, kad spirito lyginamasai svoris $s = \frac{q + p}{q + p_1}$.



Pieš. 27

Paimsime stiklinį cilinderį 20 arba 30 centimetrų ilgio ir nuo 0,5 iki 1 centimetro skersmens, arba diametro. Pažeminti kuo žemiau šito cilinderio masės centrui, įpilame į jį šatrų arba gyvojo sidabro ant dugno, o kitą jo galą užlydysime (27 pieš.). Tegu toksai cilinderis sveria p gramų. Įmerksime šitą cilinderį į skystimą, kurio lyginamasai svoris s_1. Jis pasiners tame skystime savo tūrio dalimi, kurią (tūrio dalį) pažymėsime raide v_1. Taigi mes čia turime $p = v_1\, s_1$. Išimsime mūsų cilinderį iš šito skystimo ir įmerksime jį į kitą skystimą, sakysime, lengvesnį negu pirmasis. Tame skystime mūsų cilinderis pasiners giliau. Pažymėsime šito skystimo lyginamąjį svorį s_2, o pasinėrusios skystime cilinderio dalies tūrį raide v_2. Tada, pagal Archimedo dėsnį, $p = v_2\, s_2$. Lygindami šitą lygtį ir pirmąją lygtį, mes turime $v_1\, s_1 = v_2\, s_2$, arba $\frac{s_1}{s_2} = \frac{v_2}{v_1}$, žodžiais: skysčių lyginamieji svoriai bus atvirkščiai proporcingi įmerktiems į skysčius cilinderių tūriams. Šituo principu remiasi nuolatinio svorio areometrai — patogūs aparatai įvairių skysčių lyginamajam svoriui matuoti. 28 piešinys atvaizduoja šitų areometrų formą, kuri jiems paprastai suteikiama. Mes turime čia platoką tuščią stiklinį cilinderį, kuris apačioj baigiasi nedideliu rutuliu, o viršuj ištemptas ilgoko tuščio stiebo pavidalu. Į rutuliuką įpilama

gyvojo sidabro pažeminti areometro masės centrui ir pasiekti jo statinei padėčiai bei pastoviai pusiausvyrai skystimuose. Stiebo galas paprastai užlydytas. Dažnai vidury cilinderio esti termometras temperatūrai apskaityti. Įmerksime areometrą į vandenį (matuoti areometrais reikia turėti stiklo indą, augštoko cilinderio pavidalo). Tegu jis pasiners gangreit iki stiebo viršaus. Padarysime čionai ženklą ir pažymėsime šitą vietą skaitmeniu 1. Išėmę iš vandens ir nušluostę, įmerksime areometrą į sunkesnį kaip vanduo skystimą. Jis pasiners žymiai mažesne savo tūrio dalimi, sakysime, iki stiebo susijungimo su cilindrine dalimi. Jeigu skysčio lyginamasai svoris bus, sakysime, 1,3, tai šitoj vietoj ant areometro reikia padaryti ženklas ir pažymėti jis skaitmeniu 1,3. Atokumą tarp šitų dviejų ženklų mes galime padalyti į 60 dalių ir tada šitokiu areometru mes galime matuoti tokius lyginamuosius svorius, kurie yra ribose 1—1,3 ir matuoti intervalais 0,005. Jeigu mes atokumą tarp bruožų 1,3 ir 1 padalysime į 600 dalių, tad mes galėsime matuoti daug tiksliau, būtent, intervalais 0,0005 (vadinasi, reikėtų paimti ilgesnis stiebas). Paprastai tokie areometrai turi popierinę skalą tuščio stiklinio stiebo viduryje ir ta skala mechanikų dalijama viršuj nurodytu būdu (tas galima padaryti, pakol viršutinis stiebo galas atdaras, neužlydytas).



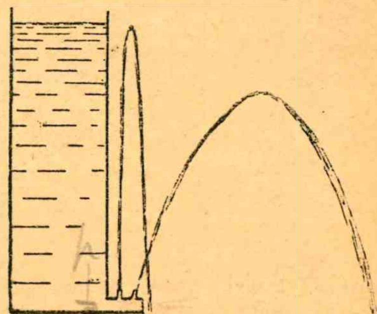
Pieš. 28

Jeigu mes norėtumėm vienu tokiu areometru matuoti lyginamuosius svorius ir skysčių, lengvesnių už vandenį ir sunkesnių už vandenį, tai mes gautumėm turėti areometrą su perilgu stiebu, kas nepatogu, nekalbant jau apie tai, kad stiklo indai skystimams būtų pergilūs. Išvengti tokiam nepatogumui, areometrai gaminami tam tikriems intervalams, sakysime, skysčiams lengvesniems už vandenį, intervalai gali būti 0—0,5; 0,5—1. Tai būtų du areometrai. Skysčiams, sunkesniems už vandenį, galima turėti trys areometrai su intervalais 1—2, 2—3, 3—4. Paprastai parduodamas rinkinys 4 ar 5 areometrų atskirame etui. Areometrai, speciališkai pritaikinti spirito stiprumui matuoti, vadinasi spiritometrai, kaip antai Tralleso spiritometras. Jis, be paprastų padalijimų, turi dar padalijimų nuošimčiais, kurie rodo, kiek spirito tūrio nuošimčių arba svorio nuošimčių yra bandomajame svaigstamame gėrale. Taip pat yra atskiras areometras pieno riebumui matuoti, kuris vadinasi laktodensimetras. Šito areometro padalijimai parodo, kiek nuošimčių riebalų yra piene.

8 §. Pagrindiniai hidrokinetikos dėsniai. Torricelli'o teorema. Skysčio tekėjimas iš skylės ir jo tekėjimas kanalu. Hidrodinaminis spaudimas. Pritaikinimai.

Dabar panagrinėsime klausimą, kokie santykiai veikia tarp spaudimo ir greitumo, jeigu skystimas juda. Paimsime cilindrinį indą (piešiniai 29 ir 30) su kokiu nors skystimu ir išgręšime skylę indo apačioje. Iš skylės tekės skystimas srovės pavidalu. Pažymėsime skysčio spaudimą skylės lygumoj raide p, skylės skerskrodžio plotą raide q ir skylės storumą raide d. Tad jėga, veikianti skystį skylėje, bus pq, ir kadangi ta jėga varo skystį skylėje per atokumą d, tai tos jėgos atliktas darbas bus pqd. Tas darbas turi būti lygus kinetinei ištekančio iš skylės skysčio energijai. Pažymėsime skysčio lyginamąjį svorį raide s. Tad skysčio masė skylėje bus dqs. Pažymėsime toliau tos masės greitumą, ištekant iš skylės, raide v. Tad kinetinė skysčio energija bus $\frac{1}{2}$ dqsv^2. Šita kinetinė energija, kaip jau yra pasakyta, turi būti lygi jėgos atliktam darbui. Taigi $\frac{1}{2}dqsv^2 = pqd$, arba $\frac{1}{2}sv^2 = p$. Iš čia išeina $v = \sqrt{\frac{2p}{s}}$. Vadinasi, žinodami spaudimą skylės lygumoje ir žinodami

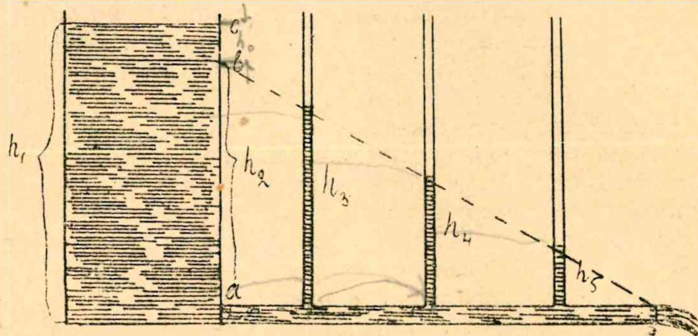
skysčio tankumą, mes galime apskaityti skysčio greitumą, ištekant iš skylės. Antra vertus, spaudimas p pareina nuo gilumo skysčio sluogsnio, kurį veikia tas spaudimas. Pažymėsime gilumą, kur yra skylės vidurys, raide h, tad spaudimas, išreikštas dinomis, bus p = hsg (g čia reiškia žemės greitėjimą). Pakeitę p reiškinį del v dydžiu hsg mes gausime $v = \sqrt{\frac{2hsg}{s}} = \sqrt{2hg}$. Taigi išeina, kad srovės pavidalu ištekančio iš skylės skysčio greitumas pareina tik nuo skylės gilumo ir nuo žemės greitėjimo ir visiškai nepareina nuo skysčio medžiagos, lygiai taip, kaip įgytas laisvai krintančio kūno greitumas. Tai ir yra žinoma Torricelli'o teorema, paskelbta 1644 metais (Torricelli's buvo vienas iš gabiausių Galilejaus mokinių). Taigi jeigu mes su tam tikru prietaisu, pavyzdžiui, įdėję į skylę trumpą stiklo vamzdį, užlenktą stačiai augštyn (29 pieš.), pakeisime greitumo linkmę, tai mūsų srovė eis augštyn ir, eidama pagal energijos sulaikymo dėsnį, turi pasiekti augštį h. Iš tikrųjų gi srovė, atlenkta augštyn, pasieks šiek tiek mažesnį augštį, būtent, 0,9 h del tos priežasties, kad dalis skysčio energijos naikinama indo šonų trynimu, oro ir krintančių žemyn lašų pasipriešinimu. Šituo dėsniu remiasi vandens fontanų veikimas. Kalnuotuose kraštuose, kur yra pakankamai nuožulniai slenkančių vandens sluogsnių, lengva įsitaisyti fontanas, remiantis hidrostatiniu vandens spaudimu. Išgręžę skylę ir įdėję į ją vamzdį, lengvai gausime smarkų fontaną, hidrostatiškai spaudžiant vandens gyslai augštesniose vietose. Dirbtiniams fontanams reikia sudaryti dirbtinis spaudimas, pumpuojant, sakysime, orą į cisternas su vandeniu po žemių, kas ir daroma lygumose. Bet ir gamtoje mes turime tokių atsitikimų, kada giliai po žemėmis, viršum skysčio, susitaupo labai daug dujų, kurios reiškia didelį spaudimą. Taip būna, sakysime, tose vietose, kur yra naftos. Gręžiant šulinį naftai gauti ir pasiekus susitaupiusių dujų urvą, labai dažnai nafta ima mušti augštyn dideliu smarkiu fontanu, kuris net ir užsidega, susidūrus išmetamiems akmenims su konstrukcijos geležimi.


Pieš. 29

Greitumas $v = \sqrt{2\ g\ h}$ matuojamas centimetrais per sekundą (kelias atliktas skysčio dalelių per 1 sekundą). Tas greitumas galima išreikšti ir tūrio vienetais, pavyzdžiui, kūbiniais centimetrais. Reikia tik linijinis greitumas padauginti iš skylės skerskrodžio ploto. Taigi $v = q\sqrt{2\ g\ h}$ (cm ^{3}). Tikrenybėje šitas dydis niekuomet nepasiekiamas, nes ištekant iš skylės srovė turi mažėlesnį skerskrodžio plotą negu skylės skerskrodžio plotas, del priežasties šoninio įsiveržimo skysčio į skylę (nuo senų laikų žinomas reiškinys, vadinamas «Contractio Venae»). Taigi tikrenybėje skysčių greitumas sudaro aplamai apie $^2/_3$ teorinio greitumo.

Jeigu skylę pastorinsim (arba pailginsim), tai mes jau turėsime tekėjimą skysčio ne iš skylės, bet kanalu, arba vamzdžiu. Įsivaizduokime sau indą, į kurio skylę apačioj įdėtas ilgesnis vamzdis (žiūr. 30 pieš.). Keliose vietose vamzdyje išgręžtos skylės ir į tas skyles įdėti statiniai stikliniai vamzdžiai (vadinamieji manometriniai vamzdžiai). Jeigu mes dabar kaip nors prilaikysime vandens paviršių inde visą laiką to paties augščio h, tad manometriniuose vamzdžiuose skysčio augštis bus nevienodas, bet toks, kad jeigu mes sujungsime kanalo skylę, iš kurios teka srovė, tiesia linija su skysčio augščiu artimiausiame manometriniame vamzdyje, paskui nubrėšime liniją, jungiančią skysčio augštį šitame vamzdyje su skysčio augščiu tolymesniame vamzdyje ir taip toliau, tai visos tos tiesios linijos sudarys vieną tiesią liniją, kuri prasideda nuo kanalo skylės ir eina per skysčio paviršius visų manometrinių vamzdžių, perkirsdama indą taške b augščio h_2 nuo indo dugno. Skysčio augščiai manometriniuose vamzdžiuose yra matas skysčio spaudimo atatinkamose vietose. Kanalo vamzdžio gale, iš kurio teka srovė, kaip jau mes žinome, tas spaudimas yra lygus 0. Pradedant nuo šios vietos, spaudimas čia vienodai auga, artinantis

prie kanalo vamzdžio pradžios (arba vienodai puola, einant nuo kanalo vamzdžio pradžios į kanalo galą). Reikia pabrėžti, kad tokie santykiai nusistoja tik tada, kada



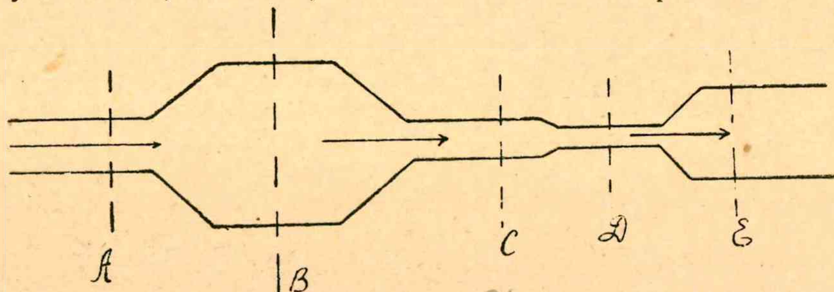
Pieš. 30

kanalo skerskrodžio plotas visur yra tas pats. Bet tada per kiekvieną skerskrodžio plotą per tą patį laiką pereina tas pats skysčio tūris, arba kiekis. Vadinasi, tokiu atveju mes turime skysčio tekėjimą kanalu arba vamzdžiu vienodu greitumu v, kuris (greitumas v) nesimaino tik tol, kol skystis inde palaikomas to pat lygio c (to paties augščio h), kitaip sakant, kol augščių skirtumas $h_1 - 0 = h_1$ nesimaino. Toks stovis vadinasi stacijoninis stovis ir gali būti atsiektas leidžiant iš kokio nors rezervuaro į indą vandenį taip greitai, kaip vanduo teka iš kanalo skylės. Pažymėję vandens augščius manometriniuose vamzdžiuose raidėmis h_3, h_4, h_5, . . . ir skysčio augštį inde iki tos vietos, kur tiesi linija, einanti per vandens lygius vamzdžiuose, perkerta indą h_2, o atokumas manometrinių vamzdžių nuo kanalo vamzdžio pradžios raidėmis l_3, l_4, l_5. . ., mes galime išreikšti spaudimo puolimą per kanalo ilgį tokiais santykiais: $\frac{h_2 - h_3}{l_3} = \frac{h_3 - h_4}{l_4 - l_3} = \frac{h_4 - h_5}{l_5 - l_4} \ldots$

Tai ir reiškia, kad čia mes turime vienodą spaudimo puolimą per visą kanalo ilgį (spaudimo puolimu mes vadiname spaudimo sumažėjimą per kanalo ilgio vienetą). Tas spaudimas yra čia varomoji jėga, kuri palaiko nuolatinį vandens greitumą kanale. Mes žinome, kad kiekvienas kūnas, kuriam suteiktas tam tikras greitumas, slenka tikrenybėje nuolat lėtėdamas ir pagaliau sustoja, veikiant trynimo momentui. Taigi, kad tikrenybėje kūnas judėtų vienodai greitai, reikia, kad visą laiką kūną veiktų nuolatinė jėga, kuri kiekvienu momentu suteikia kūnui judėjimo momentą, lygų trynimo momentui, bet prieš jį atkreiptą. Taigi ir vanduo ar kitas kuris skystis, tekėdamas kanalu trinasi į kanalo šonus, ir vandens dalelės gali būti nuolatinio greitumo tik tada, kada jų judėjimas palaikomas nuolatine jėga. Taigi, kaip jau pasakyta, čia ta nuolatinė jėga yra ne kas kita, kaip nuolatinis spaudimo puolimas, kuris, taip sakant, kiekvienu momentu kompensuoja trynimo veikimą. Pažymėję kanalo ilgį raide L, skysčio augštį, arba spaudimą, kanalo pradžioje raide h_1 ir skysčio augštį, arba spaudimą, kanalo gale raide h_0, mes turėsime, kad skysčio srovės greitumas v yra proporcingas reiškiniui $\frac{k(h_1 - h_0)}{L}$. Čia k yra tam tikras koeficientas, kuriuo išreiškiamas trynimo veikimas, kuris pareina nuo didesnio arba mažesnio kanalo šonų šiurkštumo, nuo kanalo ir skysčio medžiagos ir nuo skysčio greitumo; $\frac{h_1 - h_0}{L}$ yra ne kas kita, kaip spaudimo puolimas. Jeigu kanalo skerskrodžio plotas ne 1 kv. centimetras, o q kv. cm., tai aišku, kad greitumas v bus dar proporcingas tam dydžiui q. Taigi skysčio greitumui kanale mes turėsime reiškinį $v = \frac{k(h_1 - h_0)\,q}{L}$ žodžiais: skysčio greitumas išreikštas skysčio kūbiniais cm.

arba skysčio kiekiu, kuris per 1 sekundą pereina per kanalo skerskrodžio plotą bet kurioj kanalo vietoj, yra proporcingas kanalo skerskrodžio plotui, spaudimo skirtumui kanalo pradžioj ir kanalo gale (arba bet kurioj kitoj kanalo vietoj) ir atvirkščiai proporcingas kanalo ilgiui (arba atokumui nuo kanalo pradžios iki bet kurios kitos kanalo vietos). Į koeficientą k mes galime žiūrėti kaipo į atvirkščią dydį kanalo pasipriešinimo tekėjimui ir pavadinti šitą dydį kanalo laidumu. Iš reiškinio išeina, kad tas koeficientas reiškia skysčio kiekį, kuris per 1 sekundą pereina per vieną kv. cm., kada atokumas tarp dviejų skerskrodžio plotų yra lygus 1 cm. ir kada spaudimo puolimas yra lygus vienetui (vienai dinai).

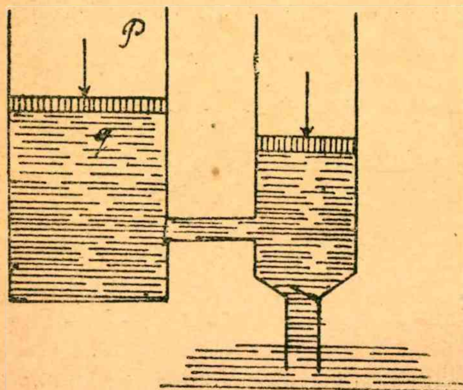
Jeigu nuolatinis spaudimo puolimas palaiko čionai nuolatinį vandens greitumą v, tai koks spaudimas suteikia vandeniui tą nuolatinį greitumą v, kuriuo jis teka iš kanalo galo? Aiš:u, kad šitą spaudimą suteikia vandens stulpo c b (30 piešinys) spaudimas arba vandens stulpas, kurio augštis yra $h_1 - h_2$. Taigi einant Torricelli'o dėsniu, greitumas $v = q\sqrt{2g(h_1 - h_2)}$ (teoretiškai). Hidrokinetiniai santykiai darosi daug painesni, kada kanalo skerskrodžio plotas nevienodas įvairiose vietose (žiūr. 31 pieš.). Čia irgi per visą skerskrodžio plotą bet kurioj kanalo vietoj teka tas pats skysčio kiekis, arba tūris, bet skaitant ant vieneto ploto tas kiekis bus juo



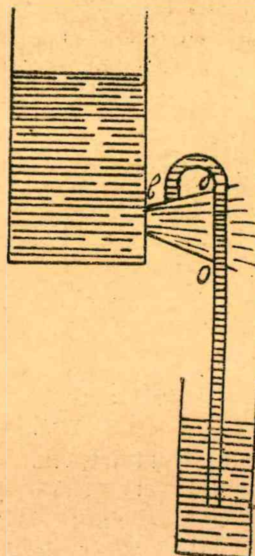
Pieš. 13 31

mažesnis, juo didesnis plotas ir atvirkščiai. Vadinas, skysčio greitumas v mainaus skerskrodžio ploto kanale bus atvirkščiai proporcingas tam skerskrodžio plotui. Tai faktas, žinomas kiekvienam žmogui, būtent, kad upės arba srovės greitumas darosi didesnis ten, kur upė arba srovė darosi siauresnė, ir mažėja ten, kur upė arba srovė darosi platesnė. Kadangi spaudimas juo didesnis, juo jo plotas didesnis, tai ir čia spaudimas ir greitumas yra atvirkščiai proporcingi dydžiai. Taigi tokiam kanale (31 pieš.) vietoje A spaudimas bus mažesnis negu vietoje B, o vietoje B spaudimas bus didesnis negu vietoje C ir t. t., nes nuo vietos A iki vietos B greitumas mažėja, o nuo vietos B iki vietos C greitumas auga ir t. t. Taigi mes turime čia savo rūšies hidrodinaminį paradoksą, būtent, kad vanduo teka tokiam kanale nuo mažesnio spaudimo vietoje A į didesnį spaudimą vietoje B, tuomet kai kitose kanalo vietose teka, taip sakant, normaliai nuo didesnio spaudimo į mažesnį spaudimą. Šitas paradoksas nyksta, jeigu mes pažiūrėsime į spaudimą p, kaipo į skysčio vieneto tūrio potencinės energijos mastą. Įsivaizduokim sau indą su stumikliu, į kurį mes galime pompuoti vandenį (žiūr 32 pieš.). Tegu stumiklio skerskrodžio plotas bus q ir tegu stumiklį veikia svoris arba išorinis spaudimas P. Įvarysime pompos pagalba į mūsų indą be anksčiau pripilto vandens iki stumiklio paviršiaus dar v kūb. cm. vandens. Tegu del tos priežasties stumiklis pakils augštyn h cm., tad atliktas darbas bus P. h. Iš kitos pusės $v = qh$, arba $h = \frac{v}{q}$. Taigi atliktas darbas bus $P.\frac{v}{q} = pv$, nes pusiausvyrai esant skysčio spaudimas p į stumiklį yra lygus $\frac{P}{q}$. Taigi ir išeina, kad skysčio spaudimas p bet kokioj skysčio vietoj yra ne kas kita, kaip to skysčio tūrio vieneto potencinė energija. Einant gi energijos išlaikymo dėsniu, kiekvienas potencinės energijos puolimas (svarstomu

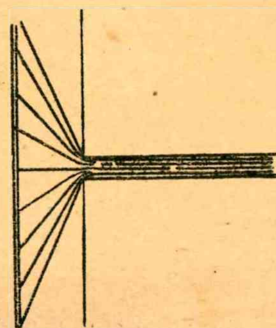
atveju skysčio spaudimo puolimas) reiškia skysčio kinetinės energijos augimą. Pažymėję skysčio tankumą raide d ir jo greitumą raide v ir pritaikinę energijos išlaikymo dėsnį prie skysčio tūrio vieneto, mes bet kokioj skysčio vietoj turėsime santykį $p + \frac{1}{2} d v^2 = \text{Const.}$ (žodžiais: algebrinė potencinės ir kinetinės skysčio tūrio vieneto energijų suma yra pastovus dydis). Pažymėsime šitą pastovų dydį raide p_o. Tad skysčio spaudimui p bet kokioj vietoj mes turėsime reiškinį $p = p_o - \frac{1}{2} dv^2$. Šitas dydis vadinamas hidrodinaminis skysčio spaudimas, ir iš reiškinio aišku, kad jis gali turėti taip teigiamos, taip ir neigiamos reikšmės. Pavyzdžiui, dažnai vartojamas hidrodinaminis siurblys veikia neigiamu hidrodinaminiu spaudimu. Tokio siurblio schemą atvaizduoja 33 piešinys. Mes čia turime stiklo indą, į kurio skylę apačioj, ties vieta b įdėtas trumpas vamzdis iš abiejų galų nukirsto kūgio pavidalo. Ties vieta b tas trumpas vamzdis turi skylelę, į kurią įleistas



Pieš. 32



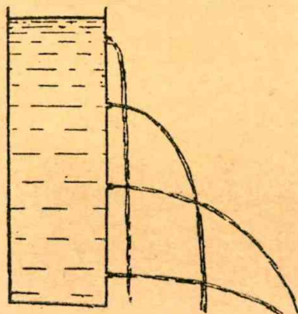
Pieš. 33

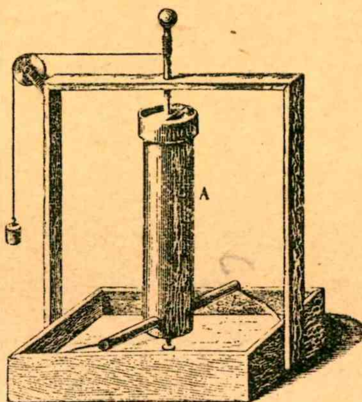

Pieš. 34

vienas galas užlenkto stiklinio vamzdžio, kurio kitas galas įleistas į indą g žemiau su nudažytu vandeniu. Iš to, kas anksčiau pasakyta, eina, kad skysčio spaudimas vietoje o, kur jis išteka iš trumpo vamzdžio, bus 0. Kadangi trumpo vamzdžio plotas vietoje o, yra didesnis negu vietoje b, tai reiškia, kad vietoje b, lygiai kaip ir kitose trumpo vamzdžio vietose tarp o ir b, hidrodinaminis spaudimas bus mažesnis negu 0, vadinas, bus neigiamas, nes spaudimas, kaip anksčiau pasakyta, kiekvienam kanale bus tiesioginai proporcingas to kanalo skerskrodžio plotui. Taigi del priežasties to neigiamo hidrostatinio spaudimo, tekanti iš o vandens srovė siurbs vandenį iš apatinio indo į kanalą b o, taip kad tekanti srovė irgi bus nudažyta. Užkišus skylę o kamščiu, vanduo iš viršutinio indo per užlenktą stiklo vamzdį tekės į apatinį indą. Jeigu mes pastatysime arti vienas nuo kito du skritulius: vieną skritulį judomai, taip kad jis lengvai galėtų slinktį į dešinę ar į kairę pusę, o kitą skritulį nejudomai; išgręšime to nejudomojo skritulio vidury skylę ir, įleidę į šitą skylę stiklo vamzdį, paleisime tarp abiejų skritulių vandens srovę (žiūr. 34 pieš.), tai judomas skritulys gan smarkiai bus patrauktas prie nejudomo skritulio (irgi vienas iš hidrodinaminių paradoksų). Dalykas toks, kad vanduo, ištekėdamas iš skylės į tarpeklį tarp abiejų skritulių, išsiskleidžia spinduliais, taip kad vandens skerskrodžio plotas didėja nuo nejudomo skritulio — judamo skritulio link. Iš kitos pusės, vanduo išteka iš tarpeklio tarp skritulių per judomojo skritulio krantus, taip kad ten vandens spaudimas yra lygus 0, o kadangi vandens srovės plotas arčiau prie skylės yra mažesnis, tai-

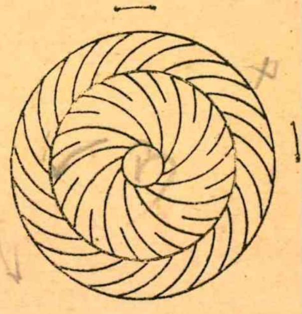
jo spaudimas ten turi būti irgi mažesnis negu vandens spaudimas arčiau prie judamojo skritulio. Taigi mes čia irgi turime neigiamą hidrodinaminį spaudimą, kuris apsireiškia tuo, kad vienas skritulys gan smarkiai traukiamas prie kito skritulio.

Paėmus gilų cilinderį su keleta skylelių įvairiuose atokumuose nuo indo kranto ir pripylus sulig krantu vandens, mes turėsime keletą parabolų pavidalo srovių, kurių ilgis bus juo didesnis, juo žemiau skylė, iš kurios teka srovė. Į kiekvieną srovę čia galima žiūrėti kaipo į trajektoriją masės taško, kuriam suteiktas tam tikras greitumas gulsčia kryptimi. Kadangi čia greitumas $v = 2\sqrt{gh}$ tad ir suprantama, kad juo žemiau skylė, juo toliau pasieks srovė, ir atokumai nuo srovės pradžios bazės iki tos vietos, kur ji perkerta horizontą, arba akiratį, santykiuos kaip kvadratinės šaknys iš skylių gilumos, skaitant nuo indo krašto (žiūr. 35 pieš.). Pačios srovės struktūros, — kuri gali būti tolydinė, susiaurinta vienose ir įsigaubusi kitose vietose, arba net ir vienodo diametro, arba pagaliau ir pertraukta, susidedanti iš įvairios formos ir didumo lašų, kurie tam tikroje eilėje seka vienas kitą,—mes čia neliečiame.


Pieš. 35



Pieš. 36


Pieš. 37

Paimsime cilindrinį indą su skyle apačioj, užkimštą kamščiu. Pakabinsime šitą indą ant siūlo, pripilsime jį vandens ir ištrauksime kamštį. Iš skylės tekės srovė, o indas atsilenks į priešingą pusę. Mes čia turime vadinamą srovės reakciją. Tą indo vietą, kur yra užkimšta kamščiu skylė, veikia hidrostatinis spaudimas. Toksai pat hidrostatinis spaudimas veikia tą indo vietą, kuri yra diametraliai priešingoje skylės atžvilgių vietoje, tiktai čia tas spaudimas atkreiptas į priešingą pusę, taip kad nesant srovei, tie spaudimai atspiria vienas antrą. Bet esant srovei, spaudimas skylėje puola iki 0, tuomet kai spaudimas į diametraliai priešingą indo vietą pasilieka veikęs, ir todel indas atsilenkia į priešingą srovei pusę. Šita srovės reakcija remiasi, viena vertus, įdomus žaislas, būtent, Segnerio ratas (36 pieš.), o antra vertus — vandeninė turbina (37 pieš.).

Paprastosios formos Segnerio ratas susideda iš cilindrinio indo, kurio apačioje randasi 2 vamzdžiai, įdėti į diametraliai priešingas skyles. Išoriniai vamzdžių galai uždaryti, bet arti tų galų išgręžtos skylės: vienam vamzdyje, sakysime, iš kairės pusės, o antrame iš dešinės (arba išorinius vamzdžių galus galima atlenkti vieną į kairę pusę, antrą į dešinę pusę, paliekant juos atdarus). Cilinderio A viršuje yra metalinė ar medinė skersinė, sujungta su ašimi, įdėta į apykaklę rėmuose. Aplink ašį apsuktas šniūras, permestas per nekilnojamąjį skridinį. Ant siūlo galo pakabintas svoris. Pilant į cilinderį A vandenį, jis ims greitai suktis ir kels svorį augštyn, vadinas, atliks darbą. Suksis cilinderis į priešingą tekančioms iš vamzdžių skylelių srovėms pusę. Vadinas, čia iš dešinės pusės ta reakcija veiks į kairiąją pusę, o iš kairiosios pusės į dešinę pusę. Taigi mes turime porį jėgų, atkreiptų priešingai srovėms, ir kaipo padarinį sukimą. Mes galime cilinderio apačioj įdėti ne du vamz-

džius, bet 4 arba net daugiau, užlenkus jų atdarus galus visuomet į priešingas puses, ir tada veikimas bus smarkesnis.

Turinti šiandien didelės reikšmės technikoje vandeninė turbina yra ne kas kita, kaip modifikuotas Segnerio ratas (žiūr. 37 pieš.). Tokia turbina susideda iš dviejų gulsčiai pastatytų vandeninių ratų, iš kurių vienas, sakysime, vidurinis B nejudomas, o išorinis A gali suktis apie statinę (vertikalinę) ašį, (kaip pavyzdžiui, Fourneyrono turbina). Ir vienas ir kitas ratas tam tikromis sienelėmis padalintas į eilę kamerų taip, kad tų kamerų šonai sudaro kampą — sakysime, vidurinio rato kamerų šonai užlenkti į kairę pusę, o išorinio rato kamerų šonai į dešinę pusę. Paleidžiant upės arba krioklio vandenį taip, kad jis tekėtų į vidurinį kanalą vidurinio rato B, — vanduo užims visas vidurinio rato kameras ir pereidamas į išorinio rato kameras suteiks joms judėjimo momentą į kairę pusę. Vandens srovės, išeinančios iš išorinio rato kamerų, bus atkreiptos į dešinę pusę, taip pat išeidamas iš išorinio rato kamerų, vanduo suteiks toms kameroms dar priedinį judėjimo momentą taip pat į kairiąją pusę. Del tos priežasties išorinis ratas smarkiai suksis iš dešinės į kairiąją pusę. Galima konstruoti vandeninė turbina ir taip, kad būtų nejudomas išorinis ratas, o suktųsi vidujinis ratas. Ten, kur reikia vandens srovės kinetinė energija paversti elektros energija, be tokios turbinos negalima apsieiti, lygiai kaip ir visais tais atvejais, kada vandens srovės pagalba norima varyti kokius nors variklius. Tokių turbinų naudingumo koeficientas yra gan augštas ir gali pasiekti 85 $^0/_0$. Tuo pačiu srovės reakcijos principu remiasi ir garinės turbinos, kaip mes pamatysime vėliau, kurios daug daugiau duoda galimumo išnaudoti garo šilimą, negu paprastos garinės mašinos.

9 §. Skysčių klampumas, arba jų vidujinio trynimo koeficientas.

Visa tai, kas anksčiau pasakyta apie skysčių judėjimą, liečia vadinamą ramų judėjimą be bangavimo, verpetų ir t. t. Toki ramų vandens judėjimą mes turime tik tada, kada jo dalelių judėjimas yra nedidelis, taip kad vandens stovis mažai skiriasi nuo pusiausvyros stovio. Vandens dalelių greitumui augant, darosi sukimaisi, verpetai, bangavimai. Mes turime tada reikalo su vadinamu turbulentiniu vandens judėjimu ir prie tokio vandens judėjimo augščiau paskelbti hidrodinamikos dėsniai nebepritaikomi.

Taip pat mes nelietėme to kiekvienam žinomo fakto, kad dalelių greitumas nevienodas kanalo ar upės vidury ir arčiau prie kanalo ar upės krantų. Visi mes žinome, kad toliau nuo kranto upės srovė yra užvis greitesne, o prie pat kranto vandens greitumas labai mažas. Jeigu skysčiai būtų tobūli, jeigu jų sluogsniai slinktų pasiduodami bet kokiai jėgai, kad ir kažkaip ta jėga būtų maža, tai nebūtų įvairių srovės sluogsnių greitumų skirtumo. Bet netobūliems, realiems skysčiams, kaip vanduo, reikia skaitytis su mažesniu arba didesniu pasipriešinimu, stumiant tangencialiai vienus sluogsnius kitų atžvilgiu. Kitaip kalbant, kada skystimo sluogsniai slenka nevienodu greitumu, tad lėtesni sluogsniai stengiasi sumažinti greitumą greitesnių ir atbulai, ir vidurinių skysčio trynimu, arba jų klampumu, mes ir vadiname tą jėgą, išreikštą dinomis, kuri, veikdama 1 kv. cm. plotą, suteikia tam plotui greitumą 1 cm. didesnį negu tokiam pat plotui vieno centimetro atokume nuo pirmojo (ta jėga ir bus klampumo, arba vidujinio trynimo koeficientas, kuris priimta fizikoje žymėti raide η). Įsivaizduokim sau stiklo stačiai pastatytą plokštelę A su storu medaus sluogsniu (medus gan klampus skystimas). Šitą medaus sluogsnį mes galime įsivaizduoti sau padalintu į eilę plonų sluogsnių. Visi tie medaus sluogsniai (38 pieš.) slenka išilgai stiklo žemyn, bet nevienodu greitumu (2-ojo, 3-jo, 4-ojo sluogsnių greitumai pažymėti nevienodo ilgio linijomis). Tas medaus sluogsnis, kuris yra tiesioginiame kontakte su stiklu, turi greitumą 0, nes jis prilimpa prie stiklo (adhezijos jėgos, veikiančios tarp stiklo ir medaus molekulų). Kitas medaus sluogsnis jau turi greitumą didesni už 0; trečias—dar didesnį ir t. t., taip kad galima pasakyti, kad atskirų sluogsnių greitumas yra tiesioginai proporcingas jų atokumui nuo stiklo pa-

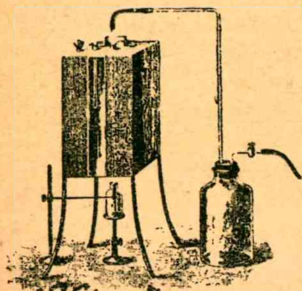
viršiaus. Kadangi šitie sluogsniai slenka vienas kito atžvilgiu įvairaus greitumo, ta mes čia ir turime tos rūšies pasipriešinimą judėjimui, kuris vadinasi vidujiniu skystimo trynimu, arba šliaužimo trynimu, kiekvienam tolimesniam nuo stiklo sluogsniui traukiant kaimyninį artimesnį nuo stiklo sluogsnį tangencialiai. Savaime aišku, kad tarp skystimo greitumo (kada tas greitumas neperdidelis) ir tarp to skystimo vidujinio trynimo yra ryšys. Ištekančio iš vamzdžio skystimo arba nutekančio nuo stiklo plokštelės skystimo greitumu mes vadiname tą skysčio tūrį, arba kiekį, kuris pereina per vieną sekundą per skerskrodžio plotą. Kaip jau matėme, šitas greitumas gali būti išreikštas kaipo sandauga linijinio skysčio dalelių greitumo iš skerskrodžio ploto. Grįždami prie medaus, nutekančio nuo stiklo plokštelės, mes matėme, kad sluogsnių greitumas didėja, didėjant atokumui nuo plokštelės. Taigi per linjinį greitumą medaus dalelių čia reiks paimti vidutinis visų sluogsnių greitumas, kuris bus lygus pusei greitumo kraštinio sluogsnio, tolimesnio nuo stiklo (pažymėtas raide C). Taigi, pažymėję einančio per 1 sekunda per visą skerskordžio plotą medaus tūrį V, imdami medaus sluogsnio gilumą, arba storumą, lygų a (AC) centimetrų, ir to sluogsnio platumą, lygų 1 centimetrui, mes turėsime $V = va$. Kadangi vidutinis greitumas $v =$ proporcingas $\frac{a}{2}$, tad $V =$ proporcingas $\frac{1}{2}$ (a^2). Įsivaizduokim dabar sau tokią pat stiklo plokštelę, su tokiu pat medaus sluogsniu, prijungtą iš dešinės pusės prie pirmosios taip, kad krantai kraštinių, tolimesnių nuo plokštelės, medaus sluogsnių susilieja (žiūr. 38 pieš. A ir B). Mes čia turime įprastą mums figūrą, kuri rodo, kad tarp dviejų krantų A ir B tekantieji medaus sluogsniai turi užvis didesnį greitumą vidury, o prie pat krantų tas greitumas yra lygus 0, nelyginant kaip vanduo, tekantis upėje. Čia jau einąs per skerskrodžio plotą medaus tūris bus 2 syk didesnis negu pirmu atveju, imant tačiau domėn, kad ir tekančio sluogsnio gilumas, arba storumas, bus irgi 2 syk didesnis. Taigi pažymėję viso sluogsnio storumą 2 a raide A, mes turime: $V =$ proporcingas $2 . \frac{1}{2} (\frac{A}{2})^2 = 2 . \frac{1}{2} (\frac{A^2}{4}) =$ proporcingas $\frac{1}{4}$ A^2 (skaitant ir čia sluogsnio platumą 1 centimetrą). Įsivaizduokim dabar sau, kad prie stiklo plokštelių A ir B pridėta dar 2 plokštėlės iš pryšakio ir iš užpakalio, taip kad dabar medus teka per kanalą, arba vamzdį, kurio skerskrodžio plotas turi keturkampio pavidalą. Pažymėsime atokumą tarp tų dviejų naujai pridėtų plokštelių raide D, tad tūris medaus, tekančio tarp tų dviejų plokštelių — jeigu to medaus sluogsnio platumas bus 1 centimetras — bus proporcingas $\frac{1}{4}$ D^2. Vadinas, medaus tūris, tekantis per tokio keturkampio kanalo skerskrodžio plotą $V =$ proporcingas $\frac{1}{16}$ $A^2D^2 =$ proporcingas $\frac{1}{16}$ $(AD)^2$. O AD yra ne kas kita, kaip keturkampio skerskrodžio plotas. Taigi, kalbėdami apie medaus tūrį, tekantį per visą skerskrodžio plotą, mes dabar žinosime, kad tas tūris bus proporcingas $\frac{1}{16}$ skerskrodžio ploto kvadrato. Jeigu medus arba kitas koks skystimas tekės per kapilarinį vamzdį, tai taip pat greitumas, išreikštas kūbiniais centimetrais, bus proporcingas $\frac{1}{16}$skerskrodžio ploto kvadrato, arba, kitaip sakant, bus proporcingas ketvirtajai vamzdžio spindulio galiai. Imdami domėn, kad srovės greitumas, išreikštas kūbiniais centimetrais per sekundą, yra dar tiesioginai proporcingas varomajai jėgai arba skysčio hidrostatinio spaudimo dviejų lygių skirtumui, atvirkščiai proporcingas kanalo, arba vamzdžio ilgiui ir pagaliau atvirkščiai proporcingas skysčio klampumui, arba vidujinio trynimo koeficientui, — mes prieisime prie tokio reiškinio greitumui

Pieš. 38

$V = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{q^2}{16} \cdot \frac{h}{l.\eta} = \frac{q^2 h}{8\pi l \eta}$. Čia q reiškia kanalo arba vamzdžio skerskordžio plotą kvadratiniais centimetrais, h — skirtumą tarp augščio, nuo kurio skysčiai pradeda tekėti, ir augščio, iki kurio jie nuteka, l — vamzdžio, dažniausiai kapilarinio, ilgis ir η — skysčio vidujinio trynimo koeficientas.

Naudodamies šita lygtimi, mes galime paprastu būdu surasti skysčio vidujinio trynimo koeficientą, arba klampumą, η, jeigu mes išmatavę kapilarinio vamzdžio plotą, jo ilgį ir ištekėjusio skystimo tūrį, surasime sekundomis laiką, per kurį tas tūris išbėga. Pažymėsime šitą tūrį vėl raide V, o laiką raide z, tad $V = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{q^2 h\ z}{8\pi l}$. Ir iš čia $\eta = \frac{1}{V} \cdot \frac{q^2 h\ z}{8\pi l}$. Čia q reiškia kapilaro skerskrodžio plotą, h reiškia tekančio skysčio viršutinio ir apatinio paviršių atokumą ir l — kapilaro ilgį. Šita lygtis atatinka vandeniui. Paėmus gi kitą skystimą, kurio lyginamasai svoris bus s, spaudimo puolimas, arba varomoji jėga, jau bus nebe h, bet hs, taip kad bet kokiam skysčiui šita lygtis turi būti perrašyta taip: $\eta = \frac{1}{V} \cdot \frac{q^2 hs \cdot z}{8\pi l}$.

Surasti trynimo koeficientui η, patogus yra Arrhenius'o aparatas (39 pieš.). Jis susideda iš keturkampės metalinės dėžės, kurios augštis yra didesnis, kaip plotis arba ilgis ir kurioje iš priešakio ir užpakalio yra stikliniai langai, per kuriuos galima matyti dėžės vidurį. Dėžė statoma ant geležinio keturkojo. Ji gali būti pripilta per koštuvėlį dėžės viršuje vandens arba kito kokio skystimo palaikyti nuolatinei bandymo metu temperatūrai, kuri apskaitoma pagalba termometro, įdėto į atatinkamą skylę dėžės viršuje. Per kitas dvi atatinkamas dėžės skyles į dėžę įdėtas metalinis keturkampis, kuris galima kiloti augštyn ir leidinėti žemyn, maišant tuo būdu vandenį arba kitą skystimą dėžėje temperatūrai išlyginti. Taigi šita dėžė yra ne kas kita, kaip savo rūšies termostatas (tynė, maudyklė) nuolatinei temperatūrai palaikyti.



Pieš. 39

Be visa tai, apačioj dėžės yra didelė skylė, į kurią galima įkišti didelis korko arba kaučiuko kamštis, o augščiau dėžės diametraliai priešingai mažesnė skylė, į kurią galima įdėti mažesnis kaučiuko kamštis. Pagrindinė aparato dalis koficientui η nustatyti yra ilgokas stiklinis vamzdis (žymiai ilgesnis už dėžės augštį), kurio viršutinė dalis išpūsta, rutulio pavidalo, vidurinė gi dalis ištempta, kapilaro pavidalo, kuris baigiasi didesnio diametro vamzdžiu. Šita apatinė vamzdžio dalis įdedama į korko arba kaučiuko kamštį taip, kad siauresnė kamščio dalis būtų atkreipta augštyn. Taigi pakėlę dėžę-termostatą augštyn, mes per apatinę didžiąją dėžės skylę įstumiame į dėžę stiklinį vamzdį, taip kad viršutinis vamzdžio galas išeina per viršutinę dėžės skylę, ir tvirtai nustatome tą vamzdį apatinio kamščio pagalba, užmaudami dar ant viršutinio vamzdžio galo kaučiuko kamštį taip, kad tas kamštis įeitų į viršutinę dėžės skylę. Pastatę dėžės apačioj ant štatyvo bonką su vandeniu arba kitu kuriuo skystimu taip, kad vamzdžio galas būtų toj bankoj skystime, ir sujungę sulenkto tiesiu kampu stiklinio vamzdžio ir kaučiuko vamzdžio pagalba viršutinį vamzdžio, esančio dėžėj, galą su aspiratorium, mes galime įsiurbti į mūsų vamzdį bandomąjį skystimą iki tam tikro ženklo, padaryto viršum rutulio. Skystimo lygio padėtį bonkoje mes fiksuojame gulsčia iešmute ant štatyvo. Nustačius tam tikrą temperatūrą ir atidarius aspiratoriaus bėgtuvą, įsiurbtas skystimas nutekės. Metronomo arba net ir paprasto laikrodžio pagalba mes nustatome nutekėjimo laiką. Kai del augščio h, kuriuo matuojamas spaudimo puolimas arba varomoji jėga, tai čia reikia paimti vidurį tarp augščio nuo viršutinio vamzdžio ženklo ligi skystimo lygio bonkoje, apačioje aparato, ir tarp augščio nuo apačios rutulio iki skystimo lygio bonkoje, nes tekant augščių skirtumas nepasilieka pastovus, bet mainosi. Bet

augščio mažėjimas, pradedant nuo kapilaro pradžios, nebeturi reikšmės, nes skystimo tūris kapilare sudaro tik mažą dalį skystimo tūrio rutuly. Savaime aišku, kad prieš darant bandymą reikia išmatuoti rutulio tūris, kad žinotum kiek kb. sm. (V) skystimo išteka, kas galima padaryti atsvėrus distiliuotą vandenį, kuris tilpsta rutulyje, pradedant nuo viršutinio ženklo. Taip pat turi būti išmatuotas kapilarinės vamzdžio dalies ilgis ir pagaliau kapilaro skerskrodžio plotas, įtraukiant į kapilarą gyvojo sidabro stulpelį, tiksliai išmatavus šito stulpelio ilgį ir pagaliau atsvėrus šitą stulpelį. Iš šitų davinių, žinant gyvojo sidabro lyginamąjį svorį, lengva apskaityti $\pi r^2 = q$ kapilarui.

Surastas tokiu būdu koeficientas η išreiškiamas arba sekundomis - gramais ant kv. cm. arba dinomis — skaičiumi 981 sykių didesniu, vadinas, CGS - vienetais. Ir vienu ir kitu atveju skaičiai išeina nedideli. Tas koeficientas skysčiams labai pareina nuo temperatūros, būtent, kįlant temperatūrai koeficientas žymiai puola, vidutiniškai gangreit $2^1/_2\%$ temperatūrai pakilus 1^0. Reiškia, vidujinis skysčio trynimas yra didesnis esant žemesnėms temperatūroms ir mažesnis esant augštesnėms temperatūroms. Tas koeficientas vandens yra didesnis kaip eterio ir skysto parafino, ir žymiai mažesnis kaip spirito ir gyvojo sidabro. Žmogaus kraujo vidutinis trynimo koeficientas žmogaus kūno normalinei temperatūrai esant yra bent 5 sykius didesnis kaip vandens trynimo koeficientas. Pagaliau pažymėsime čia dar, kad skystimų trynimo pasipriešinimas yra proporcingas jų klampumui, kontakto plotui tarp dviejų skystimo sluogsnių ir skystimo greitumui ir visiškai nepareina nuo svorio, kuris spaudžia į skystimo sluogsnį. Tuo tarpu, kaip jau mes matėme, mechanikoje kietų kūnų trynimo pasipriešinimas yra proporcingas svoriui, kuriuo vienas kietas paviršius spaudžiamas prie kito ir proporcingas trynimo koeficientui, bet visiškai nepareina nuo kontakto paviršiaus didumo ir nuo greitumo, kokiu vienas kūno paviršius slenka kito atžvilgiu.

Pabrėžti čia dėsniai veikia tik neperdideliems skysčio greitumams. Esant dideliam skysčio greitumui yra pastebimas ne vien tik šliaužimas, arba čiaužimas, vienų skystimo sluogsnių kitų atžvilgiu, bet ir bangavimas ir verpetai, taip kad skystimas pradeda tekėti net trukšmingai, jeigu tik į kanalą, arba vamzdį, įsiveržia oras burbulų pavidalu. Ištekant skystimo tūris čia jau nebegali būti išreikštas augščiau duotąja lygtimi ir yra mažesnis, ir skysčio trynimo pasipriešinimas tokiais atvejais darosi proporcingas jo greitumo kvadratui. Tokiais atvejais dažniausiai tam tikrais eksperimento keliais tenka nustatyti grynai empirinius dėsnius.

Nustatymas vidujinio skysčio trynimo koeficiento yra labai svarbus dalykas technikoje, akivaizdoje to vaidmens, kurį mūsų kasdieniam gyvenime vaidina visokie greitai sukami mechanizmai ir kuriems gerai ir ilgai veikti reikalinga vartoti tepalai. Jeigu mes tarp ašies ir apykaklės įleidžiame tepalą dažniausiai mineralinio aliejaus pavidalo, tai mes pašaliname tiesioginį kontaktą ir, vadinas, kietų paviršių trynimąsi. Sukantis ašiai teesti tik šliaužimo arba čiaužimo trynimas tarp skysčio sluogsnių, kuris yra žymiai mažesnis negu esant kontakte kietiems paviršiams. Didelio greitumo mechanizmams ypač svarbu, kad tepalas, iš vienos pusės, būtų pakankamai tirštas, kad nebūtų išspaustas, o iš kitos pusės, kad jis turėtų kuo mažesnį klampumo koeficientą.

Technikoje paprastai nustatomas lyginamasai tepalo klampumas su Englerio aparatu, surandant laiką, reikalingą 200 kūbinių centimetrų tepalo ištekėti 50^0 temperatūrai esant ir 200 kūb. cm. distiluoto vandens 20^0 temperatūrai esant ir dalinant vieną laiką iš antro. Gautas tuo būdu skaičius ir vadinasi lyginamasai tepalo klampumas.

Apie vidujinį skysčio trynimą galima spręsti išeinant iš kietų kūnų judėjimo skysčiuose. Slenkant kokiam nors kietam kūnui skystime, tas kūnas turi reikalo su dvejopos rūšies pasipriešinimu: 1) kūnas sujudina skystį, vadinas, pergali skysčio inercijos pasipriešinimą; 2) kūnas perskiria skysčio sluogsnius ir verčia juos slinkti (čiaužti) vienus kitų atžvilgiu, vadinas, turi nugalėti vidujinį skystimo pasipriešinimą.

Pirmutinis iš šitų dviejų pasipriešinimų pareina nuo kūno greitumo ir aplamai yra proporcingas greitumo kvadratui (taip pat kūnui slenkant per orą greitumu v, oro inercijos pasipriešinimas yra proporcingas v^2). Šitas pasipriešinimas yra mažas,

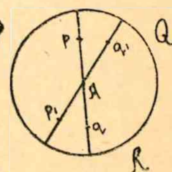
kada kūno greitumas mažas, ir todel tokiais atvejais tenka skaitytis tik su antros rūšies, būtent, vidujinio trynimo pasipriešinimu. Anglas Stokes ištyrė mažų kietų kūnų judėjimą skysčiuose ir nustatė santykius tarp kietų dalelių didumo, jų masės greitumo ir skystimo vidujinio trynimo koeficiento. Paimkime paprasčiausią atsitikimą, kada kieta dalelė, pavidalu rutulio, slenka skystime stačiai žemyn. Iš pradžios ji slenka žemyn nuolat augančiu greitumu (del priežasties greitėjimo, kurį suteikia svorio jėga, bet prieš svorio jėgą atkreiptas skystimo spaudimas augštyn, lygus kietos dalelės išspausto skystimo svoriui, ir pagaliau skystimo vidujinio trynimo jėga irgi suteikia kietai dalelei greitėjimą, atkreiptą augštyn). Slinkdama žemyn, kieta dalelė atsiekia tokią padėtį, kada svorio greitėjimas žemyn kompensuojamas skystimo spaudimo ir vidujinio trynimo greitėjimu augštyn, ir tada kieta dalelė slenka toliau nuolatiniu greitumu. Pažymėsime šitą nuolatinį kietos dalelės greitumą raide v, jos spindulį raide r, jos lyginamąjį svorį raide s, skystimo lyginamąjį svorį raide d ir pagaliau skystimo vidujinio trynimo koeficientą raide η. Tad, anot Stokes'o, pasiekę nuolatinį greitumą, mes galime išreikšti veikiančius čia santykius lygtimi $6\pi r\eta v = {}^4/_3\pi r^3(s-d)g$, kurios prasmė aiški iš to, kas augščiau pasakyta. Šita lygtis iš vienos pusės duoda mums galimumo apskaityti vidujinį trynimo koeficientą η, jeigu mes tiesioginai sugebėsime išmatuoti nuolatinį greitumą, kuriuo slenka žemyn skystime kieto kūno dalelės. Iš kitos pusės, jeigu mes kokiu nors būdu sugebėsime surasti dalelių diametrą ir žinosime skystimo vidujinio trynimo koeficientą, mes galėsime apskaityti nuolatinį greitumą kuriuo smulkios dalelės slenka skystime (arba net, sakysime, slenka dulkės ore arba net debesys ore). Iš viršuj paduotos lygties išeina $v = \frac{2}{9}\frac{g}{\eta}r^2(s-d)$. Čia g reiškia svarumo jėgos greitėjimą. Pavyzdžiui, šatras, kurio diametras yra lygus 0,2 milimetrų, slenka vandeny žemyn greitumu 22 centim. per sekundą, o vandens lašas, kurio diametras yra lygus 0,01 milim., slenka ore žemyn greitumu 0,3 centim. per sekundą. Debesys dažniausiai susideda iš tokio didumo lašų ir todel suprantamas jų ilgas kabėjimas ore.

Suspaudę vieną plonos vielos galą spaustuvais ant tam tikro štatyvo, o kitą jos galą įspaudę į stiklinį arba metalinį skritulį, įmerksime šitą skritulį į skystimą ir suteiksime jam sukamą momentą taip, kad imtų svyruoti. Svyruodamas jis sukels pasistūmėjimą skystimo artimiausių sluogsnių vienų kitų atžvilgiu ir todel jis svyruos trindamasis. Paprastai tokiais atvejais kiekvienas kūnas svyruoja nuolat mažėjančia amplitūda. Mes sakome, kad svyravimas gęsta, miršta arba rimsta ir kalbame apie logaritminį svyravimų dekrementą. Šitas dydis surištas čia su vidujiniu skystimo trynimu, ir todel iš svyravimo tokio skritulio skystime mes irgi galime spręsti apie skystimo vidujinio trynimosi koeficientą. Jeigu skystimas būtų tobūlas, be vidujinio trynimo, tad nebūtų priežasties tokiems svyravimams mažėti ir pagaliau sustoti. Realiame skystime dalis kinetinės energijos kiekvienu skritulio svyravimu suteikiama skystimui. Artimiausios skystimo dalys irgi ima svyruoti ir pagaliau, kaip visuomet, veikiant trynimui, kinetinė energija virsta šilima. Skystimo vidujinis trynimas, arba klampumas, yra priežastimi to, kad, sukant indą su skystimu, ir skystimas ima suktis tame inde.

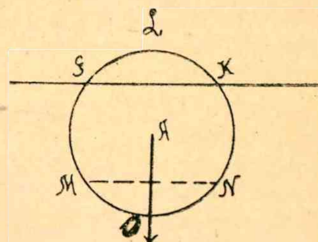
10 §. Skystimo paviršiaus įtempimas ir normalinis spaudimas.

Molekulinė-atomistinė materijos hipoteza priima, kad tarp kieto, skysto arba dujinio kūno molekulų veikia dvejopos rūšies jėgos: traukos, arba kohezijos, jėgos, kurios smarkiai auga, mažėjant atokumams tarp molekulų ir smarkiai mažėja didėjant atokumams tarp molekulų, ir, be to dar, stūmimo jėgos. Pastarąsias jėgas reikia pripažinti, nes kitaip negalima būtų išaiškinti tų galingų pasipriešinimo jėgų, su kuriomis tenka turėti reikalo spaudžiant kietus, skystus ir net dujiškus kūnus (vadinas, mažinant jų tūrį, artinant molekulas viena prie kitos). Paprastai į tas stūmimo jėgas žiūrima, kaipo į molekulų judėjimo padarinį. Susidūrę, molekulos, kaip elastingi kūnai, apsimaino savo greitumais ir, vadinas, atšoka viena nuo kitos. Aišku,

kad tos stūmimo jėgos reiškiasi juo smarkiau, juo didesni molekulų greitumai, o tie greitumai auga kįlant kūnų temperatūrai. Grįžtant prie jėgų traukos, arba kohezijos, reikia pasakyti, kad tos jėgos mainosi atvirkščiai proporcingai n-jam atokumo laipsniui, kur n yra didesnis už 2. Taigi aišku, kad tos jėgos veikia labai mažose ribose, nes, šiek tiek žymiau padidėjus atokumui, tos jėgos gangreit visai nyksta. Maksimalis atokumas tarp 2-jų molekulos centrų, kuriam esant dar veikia kohezijos jėga, vadinasi molekulinių jėgų veikimo sferos spinduliu ir aprašius sferą iš vienos molekulos centro tokiu spinduliu, mes toj sferoj turėsime visas tas molekulas, kurios veikia centrinę molekulą. Tegu taškas A reiškia molekulą, apie kurią aprašyta molekulinių jėgų veikimo spinduliu sfera PQR (pieš. 40). Jeigu mes atkreipsim domę į veikimą molekulos p molekulą A, tai iš diametraliai priešingos pusės mes surasime molekulą q, kuri randasi tokio pat atokumo nuo A, kaip ir molekula p ir todel veikia molekulą A tokia pat jėga, tik atkreipta į priešingą pusę. Kas čia pasakyta del molekulos p, gali būti atkartota bet kokiai kitai molekulai, kuri tik randasi molekulinio veikimo sferoje, nes turint molekulas rutulio pavidalo tūryje, mes surasime kiekvienos molekulos antipodą, arba jai diametraliai priešingą ir visiškai simetriškai patalpintą molekulą. Taigi išeina, kad kiekvieną molekulą skystimo vidury iš visų pusių veikia vienodo didumo jėgos, ir kadangi kiekvienas jėgų poris susideda iš dviejų jėgų, vienos prieš antrą atkreiptos, tai tos jėgos kompensuojasi, ir tarp molekulų skystimo vidury nėra jokių skirtumų molekulinių jėgų veikimo atžvilgiu. Kitaip yra skystimų paviršiuje ir arti paviršiaus. Įsivaizduokim sau molekulą, kurios centro atokumas nuo skystimo paviršiaus mažesnis negu molekulinių jėgų sferos spindulys (žiūr. 41 pieš.). Aprašysime iš molekulos A centro sferą LMN šituo spinduliu. Pažymėsime linija GK skystimo paviršių ir išvesime liniją MN, lygiagrečią linijai GK, ir taip, kad molekula A atsidurtų vidury tarp šitų dviejų linijų. Iš piešinio aišku, kad tik tos molekulos, kurios yra sferos zonoje GKMN, vienodai iš visų pusių veikia molekula A, taip kad jų veikimas yra visiškai kompensuotas. Bet veikimas molekulų, kurios yra sferos segmente MON, niekuo nekompensuotas, ir todel molekulą A yra įtakoje visų segmento molekulų veikimo, kurio atstojamoji bus atkreipta į vidurį skystimo ir visuomet perpendikulariai (normaliai) skystimo paviršiui. Taigi skystimo molekulos, kurios yra paviršiaus sluogsnyje arba net ir giliau, jei tik tas gilumas neperviršija molekulų veikimo sferos spindulio, yra įtakoj spaudimo, kuris veikia perpendikulariai arba normaliai į paviršių ir yra atkreiptas į skystimo vidurį. Tas spaudimas, vadinamas normaliu spaudimu, yra nemažas, pavyzdžiui: vandens esant 20^0 temperatūrai jis yra lygus 11.000 atmosferų, spirito — 2.000 atmosferų, eterio — 1.000 atmosferų. Kaipo būtinas padarinys to normalinio spaudimo, atkreipto į vidurį skystimo, reiškiasi ypatingos jėgos išilgai skystimo paviršiaus, vadinamosios tangentinės jėgos, ir visas laisvas skystimo paviršius yra ypatingame įtempimo būvyje. Galima išvesti analogiją tarp elastingos įtemptos plėkšnelės ir skystimo paviršiaus. Elastingoje įtemptoje plėkšnelėje mes irgi turim normalinį spaudimą ir tangentines išilgines jėgas, nes jeigu tik yra spaudimas, tai bus ir ištempimas, ir atbulai. Tiktai išvedant šitą anologiją niekuomet nereikia užmiršti, kad skystimo paviršius visgi ne plėkšnelė, nes plėkšnelė turi bent du paviršiu: viršutinį ir apatinį, o viršutinis skystimų molekulų sluogsnis turi tik vieną paviršių arba, kitaip sakant, ribas, kurios atskiria skystimą nuo kito skystimo, nuo oro ir nuo kito kokio kūno. Vandens vorams ir kitiems vandeniniams insektams vandens paviršius visiškai atstoja kietą elastingą plėkšnę: jie bėgioja ant to paviršiaus taip, kaip arkliai ant sausumos. Galima žemiau išdėtu eksperimentu aiškiai demonstruoti šitą paviršiaus įtempimą. Pakabinsime ant plono timpos siūlo nedidelę grandį iš metalinės vielos taip, kad ji kabėtų gulsčiai, ir įleisime tą grandį į van-

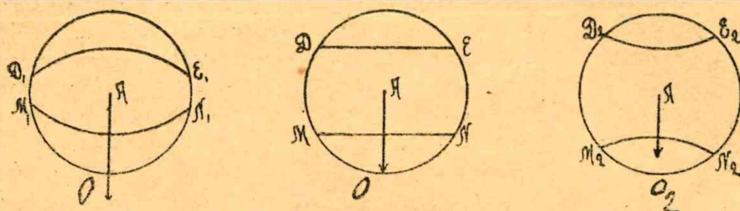


Pieš. 40



Pieš. 41

denį. Kilnodami grandį vandeny mes nepastebėsime jokio timpos siūlo įtempimo, pakol nepasieksime skystimo paviršiaus. Pasiekę tą paviršių ir tempdami vis augštyn, timpos siūlas aiškiai įžiūrimai išsitemps, ir mes aiškiai pajusime paviršiaus jėgų pasipriešinimą ir tiktai tempdami toliau ir, taip sakant, sudraskę vandens paviršių, mes ištrauksime vielos grandį iš vandens, ir timpos siūlas susitrauks iki savo normalinio ilgio.



Pieš. 42

Pasirodo, kad normalinis paviršiaus spaudimas pareina nuo to, kokios rūšies paviršius: ar plokščias, ar išgaubtas, ar įdubęs, 42 piešinys duoda molekulinių jėgų veikimo sferą iš centro arčiau nuo paviršiaus negu veikimo radijus, esant plokščiam, išgaubtam ir įgaubtam paviršiui. Nekompensuotas sferos veikimo segmentas MON yra užvis didesnis išgaubto paviršiaus D_1 E_1, užvis mažesnis įgaubto paviršiaus D_2 E_2 ir vidutinis plokščio paviršiaus DE. Taigi normalinis spaudimas, vadinas, ir paviršiaus įtempimas yra užvis didesnis ant to paties didumo išgaubto paviršiaus ir mažesnis ant plokščio paviršiaus, o tas pastarasis didesnis negu spaudimas ant įgaubto paviršiaus to paties didumo.

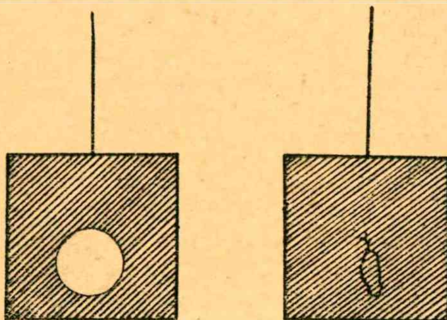
Ir kietų kūnų paviršius yra ypatingai įtemptame būvyje, ir paviršutinis molekulų sluogsnis jėgų atžvilgiu skiriasi nuo vidurinių sluogsnių. Bet turint omeny galingas intramolekulines jėgas, veikiančias kietuose kūnuose, ir nemaskuojamas svorio jėgas, paviršiaus įtempimo reiškiniai neturi tokios didelės reikšmės kietiems kūnams kaip skystiems kūnams (dujos visai neturi paviršiaus ir nėra tad kalbos apie dujų paviršiaus jėgas). Bet ir skystuose kūnuose tos paviršiaus jėgos reiškiasi tiktai paviršiuje arba labai plonuose skysčių sluogsniuose, kada svorio jėgos veikimas žymiai sumažintas arba visiškai eliminuotas. Paprastai gi turint storus izoluotus skystimo sluogsnius, svorio jėgos maskuoja tas skystimų molekulines jėgas. Skystimo paviršiaus įtempimas reiškiasi visų pirma tuo, kad skystimo paviršius stengiasi susitraukti, pasidaryti kuo mažesnis. Taigi turėdami nedidelę masę vandens arba kito kokio skystimo, mes matome, kad skystimas įgauna lašo, mažo rutulio formą. Tas pats apsireiškia Plateau eksperimente, kur provanso aliejus, pilamas į vandens ir spirito mišinį tokio pat lyginamojo svorio, kaip aliejus, įgauna rutulio formą. Rutulio gi paviršius duotuoju tūriu yra minimalis. Taigi šita bendra viesiems skysčiams forma, pašalinus svorio jėgų veikimą, yra ne kas kita, kaip padarinys paviršiaus įtempimo jėgų, skystimo paviršiaus pastangų kuo labiau susitraukti.

Skystimo paviršiaus įtempimas yra skystų plėkšnelių ir muilo burbulų susidarymo priežastis, o įvairios visuomet simetrinės ir gražios tų plėkšnelių formos išeina iš minimalio paviršiaus prie maksimalio tūrio principo, nekalbant jau apie puikiausias šviesos spalvas, kurios apsireiškia skystose plėkšnelėse ir muilo burbuluose, ir kurios yra šviesos bangų interferencijos padarinys, apie ką teks mums kalbėti smulkiau šviesos skyriuje.

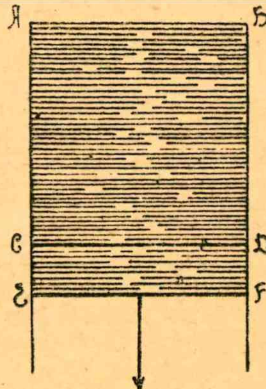
Jau minėtas Plateau pirmutinis nagrinėjo skystų plėkšnelių ypatybes ir nustatė empirinius tų plėkšnelių susidarymo dėsnius. Plateau eksperimentai gali būti lengvai atkartoti. Tinkamiausias tiems eksperimentams skystis, tai muilo tirpinys, arba tirpalas, vandeny arba dar geriau glicerine (užvis geriau imti Marselio muilą). Be to, reikia turėti eilę geometrinių figūrų iš plonos gryno vario vielos, pavyzdžiui: kvadratą, dvi grindis ant vieno stiebo, kūbą, tetraedrą ir t. t. Paėmę vielos kvadratą ir įmerkę jį į muilo-glicerino tirpinį, ištraukę mes gausime gražią skystą kvadratinę dviem paviršiais plėkšnelę, kuri gan stipriai ir ilgai laikosi (žiūr. 43 pieš.).

Paimsime ploną medvilinės siūlą ir, padarę iš jo nedidelę kilpą, uždėsime ant plėkšnelės. Pradūrę su adata plėkšnelę kilpos vidury, mes tuojau pastebėsime, kad kilpa išsitaisys ir įgaus taisyklingo rato pavidalą. Labai vaizdingas paviršiaus įtempimo veikimas, kuris, stengdamasis sutraukti labiau skystimo paviršių, padaro siūlo kilpą rato formos.

Įsivaizduokim dabar sau tokia skystą plėkšnelę, keturkampio ABCD pavidalo 44 pieš. Pažymėsime paviršiaus įtempimo jėgą raide T, išreikštą dinomis, skaitant



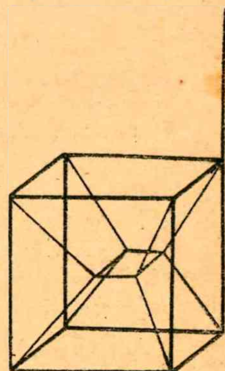
Pieš. 43



Pieš. 44

ją, kaip tai yra priimta fizikoje, ant 1 cm. viso paviršiaus ilgio. Tegu jėga P pridėta prie plėkšnelės kranto CD truputį ištems plėkšnelę padidindama jos ilgį per CE, tad plėkšnelės paviršiaus padidėjimas iš vienos pusės bus CE . CD, o iš abiejų plėkšnelės pusių bus dusyk tiek, vadinas, 2 CD . CE. Tuo pačiu laiku mes, vadinas kaipo atlikto darbo išdava, tempdami plėkšnelę padidinsime potencinę skystimo paviršiaus energiją, kuri vadinama paviršiaus įtempimo energija. Išeidami iš augščiau duotos T jėgos definicijos, mes tos energijos padidėjimą abiejų plėkšnelės pusių galime išreikšti kaipo 2T . CD . CE. Pritaikinę čia galimų pasistūmimų, arba galimų darbų principą, ir pažymėję raide E paviršiaus įtempimo energiją 1 centimetre, mes turime lygtį: $2T . CD . CE = 2E . CD . CE$, iš kur išeina $E = T$. Vadinas, į paviršiaus įtempimo jėgą T mes galime žiūrėti kaipo į paviršiaus potencinės energijos padidėjimą, padidinę paviršių 1 kv. centimetru, arba kaipo į potencinę paviršiaus ploto vieneto energiją.

Grįždami prie figūrų, kurias sudaro skystos plėkšnelės, įmerksime į muilo-glicerino tirpalą vielos kūbą. Ištraukę mes pamatysime, kad skysta plėkšnelė sudaro tolydinę masę, bet taip, kad nuo kiekvienos kūbo briaunos tęsiasi plėkšnelės į kūbo vidurį, kur jos sueina sudarydamos savo galais nedidelį kvadratą (žiūr. 45 pieš.). Kaip rodo piešinys, ten sueina 8 plėkšnelės. Tokia figūra ant kūbo susidaro tada, kada įmerkę kūbą į muilą-gliceriną vieną sykį, mes ištrauksime neperdaug skystimo. Įmerkę antrą sykį arba net ir trečią sykį, mes galime gauti plėkšneles, kurios gražiai, lygiai sudaro kūbo šonus. Jeigu gi mes paimsime dar daugiau muilo-glicerino, tai gali išeiti ant kūbo šonų net iš oro išsigaubusios plėkšnelės. Paėmus kitas geometrines figūras galima gauti didelę įvairenybę figūrų, sudaromų skystų plėkšnelių. Visos tos figūros simetrinės ir gražios, ir jas galima fiksuoti mirkant vielos figūras ištirpintame kanifolyje, nes ištraukus kanifolis kietėja tose formose, kurias įgauna skystos plėkšnelės. Plateau, išnagrinėjęs visą eilę tokių figūrų, nustatė šiuos jų susidarymo dėsnius: 1. kur daugelis skystų plėkšnelių susiduria figūroje, ten visuomet vienoje briaunoje susieina 3 plėkšnelės ir taip, kad sudaromi tarp dviejų iš jų kampai visuomet yra lygūs; 2. kur daugelis skystų krantų sueina figūroje, ten vienam taške susiduria visuomet keturi

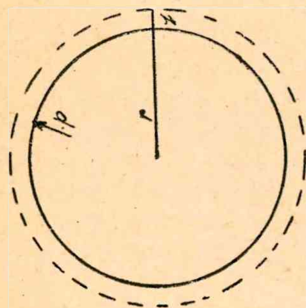


Pieš. 45

krantai ir taip, kad kampai tarp dviejų iš jų yra visuomet lygūs. Abudu šitie empiriniai dėsniai, kurie duoda galimumo suprasti ir numatyti iš anksto kokias figūras sudarys skystos plėkšnelės tuo ar kitu atveju yra ne kas kita, kaip tiesioginis padarinys minimalio paviršiaus prie maksimalio tūrio principo. Prie šito principo galima prieiti matematinės analizės keliu, išeinant iš masinių ir molekulinių skystimo savybių, lygiai kaip šitas principas duoda galimumo matematinės analizės keliu numatyti iš anksto visas galimas figūras, kurias gali sudaryti skystos plėkšnelės.

Garsus fizikas ir filosofas Ernstas Machas, diskutuodamas šituos reiškinius, pastebėjo kad skystimas, aptraukdamas plėkšnelėmis, sakysime, kūbą elgiasi panašiai kaip taupus ir sąmojingas siuvėjas, kuriam duota gelumbė, kad aptrauktų ja kūbą neperkirpęs gelumbės nė vienoje vietoje (aptraukt, taip sakant, vienu gabalu). Toksai siuvėjas, manydamas sutaupyti ir pasilikti sau kuo daugiau gelumbės, aptrauktų kūbą visiškai taip, kaip jį aptraukia muilo-glicerino plėkšnelės (45 pieš.). Ypatingai čia įdomu tai, kad labiausiai ekonominant medžiagą išeina gražiausias fasonas. Statydamas klausimą, kodel skystimai visuomet stengiasi įgauti tokią formą, kurią turint išeitų mažiausias paviršius, bet esant didžiausiam tūriui, Ernstas Machas atsako, kad molekulinės traukos, arba kohezijos, jėgos, turint omeny didelį judingumą skystimų molekulų, verčia tas molekulas spaustis kuo giliau į skystimą, taip kad skystimas pasiekia pusiausvyros tik tada, kada jo paviršiuj pasilieka mažiausias galimas molekulų skaičius. Šitas ekonomijos principas, kuris tuo pačiu laiku veda prie simetrijos ir grožio apsireiškimų, yra vienas iš bendrų gamtos jėgos veikimo dėsnių. Pažymėsime dar čia, kad ir bitės, gamindamos medui dėti korius pavidalu gražių šešiašonių prizmų, kurios glaudžiai ir betarpiai guli viena prie kitos, irgi laikosi to principo, kad mažiausia medžiagos sudarytų kuo didžiausį talpumą medui ir tuo pačiu laiku išeitų gražios simetrinės formos.

Norėdami nustatyti kiekybinius santykius tarp paviršiaus įtempino ir normalinio paviršiaus spaudimo, apsvarstysime energijos kitimus muilo burbului. Išpūstas rutulio pavidalo muilo barbulas susideda iš skystos plėkšnelės su oru vidury, kuris reiškia į plėkšnelės paviršių iš vidaus tam tikrą spaudimą. Pučiant burbulą (žiūr. 46 pieš.) tas spaudimas iš vidaus turi būti bent truputį didesnis negu išorinis atmosferos spaudimas plus normalinis skysčio spaudimas. Kad būtų pusiausvyra, reikia, kad tas išvidinis spaudimas, būtų lygus išoriniam atmosferos spaudimui plus normalinis skysčio paviršiaus spaudimas. Norint, kad muilo burbulas laikytųsi ilgiau, reikia uždaryti vamzdžio galas, per kurį į burbulą pučiamas oras. Jeigu šitas galas atidaryti, tai paviršiaus įtempimo jėgos, stengdamosi labiau sutraukti burbulą, tokiu smarkumu išvaro iš burbulo orą laukan, jog ta oro srovė gali atlenkti ir net užpūsti žvakės liepsną. Norėdami nustatyti santykius tarp normalinio spaudimo abiejų muilo burbulų paviršių ir išvidinio oro spaudimo, mes išeisime iš pusiausvyros sąlygų ir pritaikinsime Lagrange'o galimų darbų principą, kuris sako, kad esant pusiausvyrai, algebrinė galimų darbų suma yra visuomet 0. Esant pusiausvyrai išorinis oro spaudimas plus atstojamasai abiejų burbulų paviršiaus normalinis spaudimas kompensuotas išvidinio oro spaudimo (spaudimo oro, kuris randasi burbulo vidury). Taigi šitas išvidinis spaudimas atsveria išorinį atmosferos spaudimą ir normalinį paviršiaus spaudimą, taip kad tas išvidinis oro spaudimas yra didesnis negu išorinis atmosferos spaudimas Pažymėjus skirtumą tarp šito išvidinio spaudimo ir atmosferos išorinio spaudimo raide p, mes turėsime priedinį oro spaudimą iš vidaus, kurs esant pusiausvyrai kompensuoja normalinį burbulo paviršiaus spaudimą. Pažymėsime vidutinį muilo burbulo spindulį (žiūr. 46 pieš.) raide r. Mes galime savo apskaičiavimuose vartoti šitą vidutinį spindulį todel, kad aplamai muilo burbulo storumas, lygiai kaip ir kitų skystų plėkšnelių storumas, yra labai mažas dydis. Profesorius Boyce yra išmatavęs įvairių skysčių plėkšnelių storumą



Pieš. 46

ir radęs, kad plėkšnelė gali susidaryti, jeigu jos storumas bus ne mažesnis kaip 16×10^{-6} milimetrai. Iš čia išeina, kad molekulinių jėgų veikimo sferos spindulys yra ne mažesnis kaip 8×10^{-6} mm. Pakeisime dabar labai mažai burbulo tūrį, padidinę jo vidutinį spindulį ϱ. Tad viršuj pažymėtas išvidinis priedinis oro spaudimas p atliks darbą $4\pi r^2 . p . \varrho$ (darbas yra lygus sandaugai jėgos iš tos jėgos pridedamojo taško pasistūmimo, jėgos veikimo prasme. Jeigu spaudimas p, o paviršius $4\pi r^2$, tad veikianti jėga bus $4\pi r^2 p$, o jos pridedamojo taško pasistūmimas bus ϱ. Tad atliktas darbas $4\pi r^2 p \varrho$). Šitas darbas padidins muilo burbulo paviršiaus įtempimo energiją, nes mes jau anksčiau nustatėme, kad į paviršiaus įterpimo jėgą T mes galime žiūrėti, kaipo į potencinės paviršiaus energijos padidėjimą, padidinus paviršių 1 kv. cm. Del labai mažo storumo muilo burbulo plėkšnelės, mes operuojame čia su vidutiniu spindulio r išvidiniam ir išoriniam burbulo paviršiams. Tegu padidėjus tūriui, to vidutinio spindulio r padidėjimas bus ϱ, tad muilo burbulo paviršiaus padidėjimas bus $4\pi\,[(r + \varrho)^2 - r^2] = 8\pi r \varrho + 4\pi \varrho^2$. Kadangi ϱ yra labai mažas dydis, tai narį $4\pi\varrho^2$ mes galime atmesti. Vadinas, vidutinis paviršiaus padidėjimas bus $8\pi r \varrho$ ir potencinės energijos padidėjimas pagal viršuj duotą definiciją bus $8\pi r \varrho T$. Tai bus skaitant vienam muilo burbulo plėkšnelės paviršiui. Kadangi kiekviena plėkšnelė turi du paviršius, tai potencinės energijos padidėjimas abiem paviršiam bus $16\pi r \varrho T$. Einant Lagrange'o principu, mes turėsime $4\pi r^2 p \varrho = 16\pi r \varrho T$. Iš čia $p = \frac{4T}{r}$. Šita lygtis duoda galimumo apskaityti paviršiaus įtempimo jėgą T sferinei plėkšnelei, kaip muilo burbulas, jeigu mes išmatuosime sferos spindulį r ir priedinį išvidinį spaudimą p. Taigi išeina, kad pusiausvyros sąlygose tas priedinis spaudimas ir, vadinas, molekulinis spaudimas yra tiesioginai proporcingas paviršiaus įtempimui ir atvirkščiai proporcingas paviršiaus spinduliui arba tiesioginai proporcingas paviršiaus kreivumui. Vieno tik paviršiaus normalinis spaudimas $p = \frac{2T}{r}$.

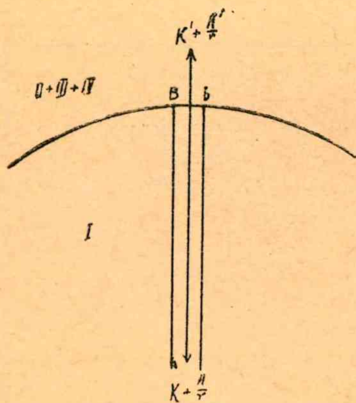
Norėdami aplamai išsiaiškinti sau pareitį tarp normalinio spaudimo, paviršiaus įtempimo ir molekulinių jėgų skystimo vidury, įsivaizduokime sau skystimo paviršių sferinio paviršiaus pavidalo (žiūr. 47 pieš.). Įsivaizduokime sau toliau ant to paviršiaus ploto vienetą Bb ir skystimo cilinderį, apibrėžtą šituo plotu stačiai žemyn. Aišku, kad molekulinė trauka, arba molekulinis spaudimas, kuri veikia ploto vienetą Bb, bus lygi traukai, kuria visos molekulos I erdvėje veikia skystimo cilinderį. Taigi šitas molekulinis spaudimas į plotą Bb pareina nuo dviejų dalykų, būtent: nuo molekulinės traukos, veikiančios cilinderį, ir nuo sferos spindulio. Pirmasai veiksnys yra pastovus dydis, reiškia konstantą, kurį mes pažymėsime raide K. Antrasis veiksnys gali būti išreikštas kaipo $\frac{A}{r}$ (pažymėjus sferos spindulį raide r). Pažymėsime molekulinę trauką, arba molekulinį spaudimą į ploto vienetą, raide Z_I. Tad mes turime $Z_I = K + \frac{A}{r}$. Jeigu skystimas turi plokščią paviršių, tad $r = \infty$, ir molekulinė trauka, arba spaudimas, bus lygus K.

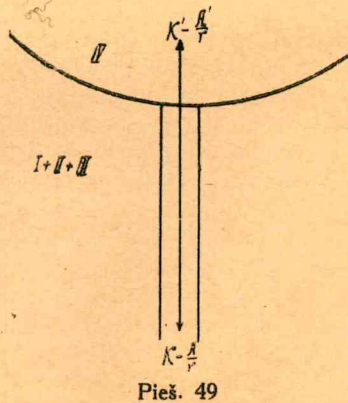
Pieš. 47

Išvesime dabar liečiamąją liniją DE į sferos paviršių (arba, tiksliau kalbant, liečiamąją plokštį) ir išpildysime tuo pačiu skystimu II erdvės dalį tarp sferos paviršiaus ir liečiamosios plokšties. Aišku, kad ta skystimo dalis veikia plotą Bb kaipo spaudimas, arba trauka, atkreipta augštyn. Pažymėsime šitą trauką raide Z_{II},

tad atstojamasai spaudimas žemyn bus $Z_I - Z_{II} = K$, nes mes čia turėsime skystimą, apibrėžtą plokščio paviršiaus, kuriam molekulinis spaudimas yra lygus konstantai K. Taigi Z_{II} bus lygus $Z_I - K = K + \frac{A}{r} - K = \frac{A}{r}$. Įsivaizduokime sau toliau sferos paviršių A^1BC^1 (žiūr. 47 pieš.), nupieštą tuo pačiu spinduliu, taip kad tas paviršius būtų liečiamas plokštimi DE, būtų išgaubtas žemyn, bet šiapjau būtų visiškai simetriškas paviršiui ABC. Pripildžius III erdvės dalį tuo pačiu skystimu aišku, kad molekulos III erdvės dalyje tarp liečiamosios plokšties ir sferinio paviršiaus A^1BC^1 veiks cilinderį Bb trauka, arba spaudimu, atkreiptu augštyn, bet šiaipjau lygiu traukai Z_{II}. Taigi trauka $Z_{III} = \frac{A}{r}$. Iš čia išeina, kad jeigu skystimo paviršius sudaro įgaubtą sferos dalį (A^1BC^1), tad plotą Bb veikia molekulinis spaudimas $Z_I - Z_{II} - Z_{III} = K - \frac{A}{r}$. Tegu ir ta erdvės dalis, kuri apibrėžta sferos segmentu A^1BC^1, bus irgi išpildyta tuo pačiu skystimu (pažymėsime šitą erdvės dalį ženklu IV). Aišku, kad ta skystimo dalis veikia plotą Bb traukos jėga $Z_{IV} = K - \frac{A}{r}$ del priežasties pilnos simetrijos tarp ABC ir A^1BC^1. Taigi aišku, kad veikimas skystimo dalių IV, III ir II sykiu yra lygus veikimui I-os skystimo dalies, ploto Bb atžvilgiu, tik atkreiptas į priešingą pusę (augštyn), vadinas, didumo atžvilgiu lygus $K + \frac{A}{r}$.

Taigi mes čia vėl turime išvadą, prie kurios jau priėjome anksčiau, kad molekulinis spaudimas į išgaubtą skystimo paviršių $(K + \frac{A}{r})$ yra didesnis negu molekulinis spaudimas į plokščią paviršių (K), o tas pastarasis yra didesnis negu molekulinis spaudimas į įgaubtą paviršių $(K - \frac{A}{r})$.


Pieš. 48


Pieš. 49

Paimsime dabar tokį atsitikimą, kada du įvairios rūšies skystimai randasi kontakte, bet riba tarp jų yra sferinio paviršiaus dalis (žiūr. 48 pieš.). Taigi vienas iš dviejų skystimų užima I erdvės dalį, o kitas erdvės dalį II + III + IV. Šituo atveju molekulinis spaudimas į plotą Bb bus lygus skirtumui molekulinių spaudimų abiejų skystimų ir bus atkreiptas į didesnio molekulinio spaudimo pusę. Taigi tas atstojamasai spudimas bus čia $K - K^1 + \frac{A - A^1}{r}$ (čia K ir K_1, lygiai kaip A ir A^1 reiškia atatinkamas konstantas vienam ir kitam skystimui).

Tegu pirmasai skystimas išpildo erdvės dalis I + II + III, o antrasai skystimas IV erdvės dalį, kitaip kalbant, tegu abudu skystimai, atskirti įdubusios sferos riba segmento pavidalo (49 pieš.). Iš to, kas anksčiau pasakyta, išeina, kad tokiu atveju atstojamasai molekulinis spaudimas bus $K - K^1 - \frac{A - A^1}{r}$. Taigi visais at-

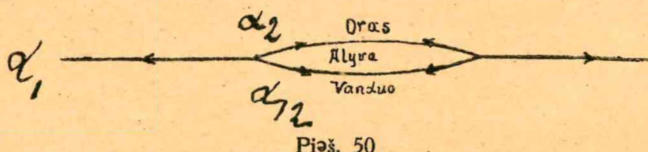
vejais molekulinis spaudimas susideda iš dviejų dalių: iš nuolatinės dalies, kurios didumas pareina tik nuo molekulų veikimo vienos į kitą ir nuo jų skaičiaus veikimo sferoje (kitaip sakant, nuo molekulų tankumo, arba tirštumo), ir iš mainios dalies, taip sakant, mainaus spaudimo, kuris yra atvirkščiai proporcingas paviršiaus kreivumo spinduliui. Anksčiau mes matėme, kad normalinis spaudimas į kreivą paviršių ir paviršiaus įtempimas surišti lygtimi $p = \frac{2T}{r}$. Taigi mainus molekulinis spaudimas, kuris išeina iš molekulų veikimo vienos į kitą, yra ne kas kita, kaip paviršiaus įtempimo padarinys, kurio didumas išeina iš lygties $T = \frac{A-A^1}{r}$. Paviršiaus įtempimo konstanta T, kaip jau anksčiau pasakyta, išreiškiama dinomis 1 centimetrui paviršiaus ilgio arba gramais vienetui ilgio. Duosime čia keletą pavyzdžių šitos konstantos.

	gr. cm.	
Gyvsidarbris	0, 55	Šitais skaičiais charakterizuojami paviršiaus įtempimai pažymėtų čia skysčių, esant jiems kontakte su oru.
Vanduo	0,075	
Provanso aliejus	0,035	
Spiritas	0,025	

Esant kontakte dviem skystimam, pavyzdžiui, vandeniui ir gyvsidabriui, jų ribos paviršiaus įtempimas bus 0,421; gyvsidabriui kontakte su Provanso aliejumi — 0,342 ir pagaliau aliejui kontakte su vandeniu — 0,021.

Jeigu gryną vandenį varvinti ant gryno gyvsidabrio paviršiaus, tai vandens lašai tuojau išsikleidžia plonu sluogsniu gyvsidabrio paviršium todel, kad, kaip rodo augščiau paduoti skaičiai, gyvsidabrio paviršiaus įtempimas yra daug didesnis negu vandens paviršiaus įtempimas. Priešingai, jeigu vandenį varvinti ant taukuotos lėkštės, tai vanduo susitraukia lašais gangreit rutulio pavidalo, nes vandens paviršiaus įtempimo jėga yra didesnė negu taukų. Jeigu gi varvinti aliejų ant vandens paviršiaus, tai aliejus išsiskleidžia ant vandens paviršiaus ploniausiu sluogsniu, kurio (sluogsnio) storumas, galima sakyti, artėja prie molekulų sferos veikimo spindulio. Todel fizikai dažnai nagrinėja tokius ploniausius aliejaus sluogsnius, norėdami gauti supratimą apie molekulinio veikimo sferos spindulį. Priežastis tokio aliejaus elgesio yra jo žymiai silpnesnis paviršiaus įtempimas negu vandens. Vandens paviršiaus įtempimo jėga, taip sakant, neduoda aliejui susitraukti lašu ir, būdama didesnė, ištempia aliejų ploniausio sluogsnio pavidalu. Dar griežčiau apsireiškia dviejų skystimų paviršiaus įtempimų skirtumo veikimas lašinant spiritą ant gryno vandens paviršiaus (iš augščiau paduotų skaičių matosi, kad skirtumas tarp paviršių įtempimo vandens ir spirito gan didelis). Vanduo, taip sakant, taip smarkiai tempia kiekvieną spirito lašą, jog vandens paviršiuje pasidaro net duobė apie kiekvieną spirito lašą, taip kad tas lašas iš visų pusių akimirkoje aptraukiamas vandeniu. Del priežasties žymaus didumo vandens paviršiaus įtempimo jėgos, labai sunku yra išlaikyti vandenį atvirame inde grynu, nes vandens paviršius stengiasi įtraukti į vandens vidurį kiekvieną dalelę, kiekvieną mažutį kūną, kuris atsiras kontakte su vandens paviršium, ir kurio paviršiaus įtempimas pasirodys mažesnis, kaip vandens. Tas pats reikia pasakyti ir apie gyvsidabrio paviršių.

Įsivaizduokime sau kokio nors skystimo lašą paviršium kito skystimo (50 pieš.). Mes čia turime tris jėgas: α_1 — antrojo skystimo paviršiaus įtempimas, α_2 —



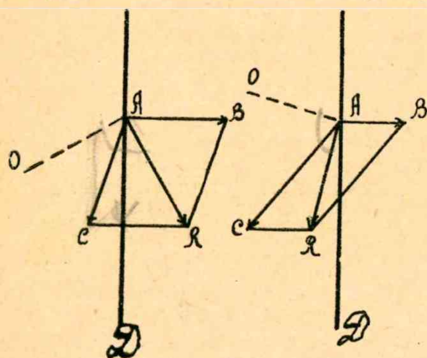
Pieš. 50

pirmojo skystimo paviršiaus įtempimas ir pagaliau α_{12} — paviršiaus įtempimas riboje tarp pirmojo ir antrojo skystimo (α_1 riboje II-jo skystimo ir oro, o α_2 riboje I-jo skystimo ir oro). Aišku, kad lašas bus pusiausvyroj tik tada, kada atstojamoji dvie-

jų jėgų α_{12} ir α_2, einant paralelogramo dėsniu, bus lygi jėgai α_1, tik prieš ją atkreiptai. Jeigu gi jėga $\alpha_1 > \alpha_2 + \alpha_{12}$, tad lašas bus ištemptas II-jo skystimo paviršiuje, plono sluogsnio pavidalo. Nusistojus pusiausvyrai, lašo paviršius sudaro tam tikrą kampą su antrojo skystimo paviršium; tas kampas pareina nuo paviršiaus įtempimo jėgų ir vadinasi kranto kampas. Kada tas kampas yra lygus 0, mes sakome, kad vienas skystimas tobūlai šlapina kitą skystimą.

11 §. Kapilarinės jėgos.

Pereisime dabar prie santykių, kurie susidaro skystam paviršiui esant kontakte su kietu paviršium. Skystimo dalelė A, kuri randasi skystimo paviršiuje ir yra kontakte su kietu kūnu AD, yra įtakoj trijų jėgų (žiūr. 51 pieš. kairėj pusėj): svorio jėgos, veikiančios statinai ir molekulinės traukos jėgos, atkreiptos į skystimo vidurį; tas dvi jėgas galima pakeisti viena atstojamąja AC, atkreipta į skystimo vidurį; be to dar, dalelė A yra įtakoj traukos jėgos iš kieto kūno pusės (adhezijos jėgos) AB, veikiančios statinai kieto kūno paviršiui. Einant paralelogramo dėsniu, jėgas AC ir AB galima pakeisti viena atstojamąja jėga AR, atkreipta išorinai į kieto kūno vidurį. Skystimo gi paviršius, esant pusiausvyrai, kaip jau mes žinome, visuomet nusistato normaliai (perpendikulariai) veikiančiai jį jėgai. Taigi čia skystimo paviršiaus dalelės nusistos linija OA perpendikulariai linijai AR,kitaip sakant, skystimo paviršius stovės augščiau, kur jis bus kontakte su kietu kūnu, ir žemiau, kur jis bus toliau nuo kieto kūno. Kampas OAD, kurį sudaro liečiamoji linija skystimo paviršiaus taške A su kieto kūno paviršium, vadinasi kranto kampas, ir kada tas kampas yra smailus, arba aštrus, kaip šituo atveju, mes sakome, kad skystimas šlapina kietą kūną, nesigilindami į esmę to posakio «šlapina», ir tokiais atvejais skystimo paviršius visuomet bus įdubęs. Toks atvejis yra, pavyzdžiui, kada vanduo yra kontakte su stiklu. Paimsime dabar kitą atsitikimą (žiūr. 51 pieš. dešinėj pusėj), kada atstojamoji AR adhezijos jėgos AB ir molekulinės traukos ir svorio jėgos AC bus atkreipta į skystimo vidurį (kitaip sakant, kada adhezijos jėga AB, palyginti su molekulinės traukos jėga, bus maža), tada skystimo dalelės nusistos perpendikulariai jėgai AR, vadinas, išilgai linijos AO. Kitaip sakant, dalelė arčiau prie kieto kūno bus žemiau, o toliau nuo jo bus augščiau, ir skystimo paviršius tuo atveju bus išgaubtas. Čia kranto kampas OAD bus bukas, arba kėstas, ir tokiais atvejais mes sakome, kad skystimas nešlapina kieto kūno (tokį atsitikimą mes turime, kada gyvsidabris randasi kontakte su stiklu). Bet būna atsitikimų, kada tas kranto kampas yra lygus 0, kaip, pavyzdžiui, esant kontakte kerosinui ir stiklui. Mes tada kalbame apie tobūlą šlapinimą kieto kūno skystimu.

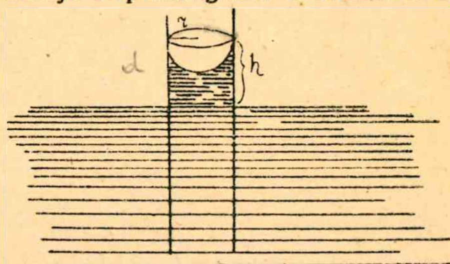


Pieš. 51

Paimsime platesnį stiklinį indą su vandeniu ir įdėsime į vandenį vieną galą siauro stiklinio vamzdžio—vadinamo kapilarinio vamzdžio, iš lotyniško žodžio capilla — plaukas, turint omeny, kad vamzdžio diametras didumo atžvilgiu yra panašus į plauko diametrą (žiūr. 52 pieš.). Kadangi vanduo šlapina stiklą, tai, kur vanduo yra kontakte su stiklu, jo paviršiaus dalelės stovės kiek augščiau, negu kur toliau nuo indo šonų ir, vadinas, vandens paviršius bus įgaubtas. Bet tas įgaubimas, arba įdubimas, bus žymiai didesnis kapilariniame vamzdyje, negu išoriniame inde. Kada išorinio indo skerskrodžio plotas yra žymiai didesnis, negu siauro vamzdžio skerskrodžio plotas, tai vandens paviršių išoriniame inde galima laikyti plokščiu, palyginus su vandens paviršiaus kreivumu siaurame vamzdyje, nes kreivumas visuomet atvirkščiai proporcingas spinduliui. Bet tokiomis aplinkybėmis normalinis molekulinis

spaudimas į skysčio paviršių išoriniame inde, išeinant iš to, kas anksčiau pasakyta, bus didesnis, negu normalinis spaudimas skysčio paviršiaus siaurame vamzdyje. Iš čia išeina, kad vanduo kils augštyn siaurame vamzdyje, pakol nusistos pusiausvyra tarp išorinio vandens paviršiaus normalinio spaudimo iš vienos pusės ir vandens paviršiaus spaudimo siaurame vamzdyje plus hidrostatinis spaudimas pakilusio virš išorinio paviršiaus vandens stulpo. Anksčiau mes matėme, kad normalinis molekulinis spaudimas plokščio skystimo paviršiaus pareina tik nuo molekulinių jėgų, yra pastovus dydis ir didesnis už normalinį spaudimą įgaubto paviršiaus. Pažymėsime jį raide K. Taip pat mes anksčiau matėme, kad įgaubto paviršiaus normalinis spaudimas gali būti išreikštas kaip $K - \frac{T}{r}$ (čia T reiškia paviršiaus įtempimo konstantą ir r — kreivo paviršiaus spindulį). Taigi skirtumas vandens paviršių spaudimų išoriniame inde ir vamzdyje bus $K - \left(K - \frac{T}{r}\right) = \frac{T}{r}$.

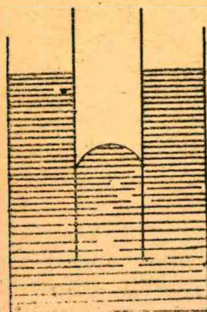
Iš čia išeina, kad augštumas skystimo stulpo, kurio hidrostatinis spaudimas turi atsverti paviršių spaudimų skirtumą, bus tiesioginai proporcingas paviršiaus įtempimui T ir paviršiaus kreivumui. Kitaip kalbant, juo didesnis bus skystimo paviršiaus įtempimas ir juo mažesnis bus vamzdžio spindulys, juo augščiau kils skystimas siauruose vamzdžiuose. Šitas reiškinys vadinamas fizikoje kapiliaringumu ir kalbama fizikoje apie ypatingas kapilarines jėgas, kurios iššaukia šitą reiškinį. Iš visa tai, kas jau pasakyta, aišku, kad tos kapilarinės jėgos yra ne kas kita, kaip skystimo paviršiaus įtempimo jėgos ir adhezijos jėgos tarp kieto kūno ir skystimo molekulų. Todel, išeinant iš kilimo skystimo augštyn siaurame vamzdyje, galima apskaityti paviršiaus įtempimo jėga T, arba vadinamoji kapilarinė konstanta. Grįšime prie 52 piešinio. Skystimo stulpas siaurame vamzdyje stovi augščiau, negu paviršius to paties skystimo išoriniame inde h cm. Pažymėsime siauro vamzdžio spindulį raide r ir skystimo lyginamąjį svorį raide d, tad to stulpelio tūris bus $\pi r^2 h$ ir, vadinas, jo svoris $\pi r^2 h d$. Tas svoris ir bus pakelto augščiau išorinio paviršiaus skystimo stulpelio hidrostatinis spaudimas (išreikšdami šitą hidrostotinį spaudimą dinomis, mes turėsime $\pi r^2 h d g$, čia g reiškia žemės greitėjimą). Jeigu skystimas netobūlai šlapina stiklą, tai skystimo paviršius sudarys smailų, arba aštrų, kampą α su vamzdžio šonais, kurį mes vadiname kranto kampu. Fizikoje priimta vadinti kreivą skystimo paviršių (įgaubtą arba išgaubtą) «menisku». Kada skystimas tobūlai šlapina kietą kūną, pavyzdžiui, žibalas, arba net kai kuriais atvejais ir vanduo, stiklą, tai kranto kampas yra lygus 0 ir meniskas turi taisyklingo pusrutulio formą. Tokiais atvejais menisko spindulys bus lygus vamzdžio spinduliui, ir menisko apskritimas bus lygus vamzdžio išvidiniam apskritimui, būtent, $2\pi r$. Paviršiaus įtempimo jėgą T mes anksčiau pavadinome tangencialiai veikiančia jėga, išreikšta dinomis 1 centimetre paviršiaus apskritimo, arba ilgumo, ilgio. Taigi visame paviršiuj veikianti jėga bus $2\pi r T = \pi r^2 h d g$, nes visa ta jėga atsveriama pakilusio vamzdyje skystimo stulpelio hidrostatiniu spaudimu. Iš čia išeina $T = \frac{\pi r^2 h d g}{2\pi r} = \frac{r h d g}{2}$, arba $h = \frac{2T}{r d g}$. Taigi skystimo pakilimas siaurame vamzdyje, kurį tas skystimas tobūlai šlapina, bus tiesioginai proporcingas paviršiaus įtempimui ir atvirkščiai proporcingas vamzdžio spinduliui ir skystimo tankumui, arba lyginamajam svoriui. Tai yra paprasčiausias metodas surasti kapilarinei konstantai, arba paviršiaus įtempimo jėgai T. Reikia paimti kapilarinis vamzdis, išmatuoti jo spindulys (įtraukus į kapilarą gyvsidabrį) išmatavus to gyvsidabrio siūlo ilgį ir paskum tiksliai atsvėrus tą gyvsidabrį; padalinę gyvsidabrio svorį iš jo lyginamojo svorio gausime tūrį, padalinę tūrį iš ilgio gausime plotą πr^2, iš kurio ir apskaitysime spindulį r. Norint pasiekti tobūlą šlapinimą, pakanka dažnai išvalyti



Pieš. 52

vamzdį rūgštimi, šarmais, distiliuotu vandeniu ir pagaliau keletą sykių išplauti bandomuoju skystimu. Įleidus tokio vamzdžio galą į skystimą, esantį didesniame inde, ir palaukus, pakol skystimas nustos kilęs vamzdyje, matuojamas pakilusio augščiau išorinio paviršiaus stulpelio augštis h. Iš $T = \frac{rhdg}{2}$ apskaitome tada paviršiaus įtempimą T dinomis.

Jeigu skystimas netobūlai šlapina vamzdį, tad jo meniskas neturės pusrutulio formos ir to menisko spindulys bus $\frac{r}{\cos\alpha}$, ir normalinis kreivo paviršiaus spaudimas bus $\frac{2T}{\frac{r}{\cos\alpha}} = \frac{2T\cos\alpha}{r}$. Kada kranto kampas α smailus, arba aštrus, tai tas spaudimas duos komponentą, atkreiptą augštyn, ir skystimas vamzdy kils augštyn. Jeigu gi tas kranto kampas bus kėstas, arba bukas, pavyzdžiui, gyvsidabrio, esančio stikliniame vamzdyje, kurio jis nešlapina, tad skystimo meniskas bus išgaubtas ir vamzdyje skystimas stovės žemiau, negu išoriniame inde (žiūr. 53 pieš., kuris atvaizduoja santykius tarp gyvsidabrio ir stiklo). Tokiais atvejais normalinis spaudimas $\frac{2T\cos\alpha}{r}$ duoda komponentą, atkreiptą žemyn. Kada skystimas tobūlai šlapina stiklą arba kitą kokį kietą kūną, arba net ir netobūlai šlapinant mums pasiseka sudaryti ant išvidinių vamzdžio šonų pusių ploną sluogsnį to paties skystimo, tad kranto kampas α yra lygus 0, normalinis spaudimas bus lygus $\frac{2T}{r}$, ir meniskas turi taisyklingo pusrutulio formą, ir tada menisko spindulys ir vamzdžio spindulys yra tas pats. Savaime suprantama, kad kapilarinei depresijai veikia tie patys dėsniai, kaip ir kapilariniam skystimų pakilimui vamzdžiuose. Vadinamosios kapilarinės jėgos turi didelės reikšmės taip negyvoje, taip ir gyvoje gamtoje. Įleidžiant žvakės degtą į vandenį, spiritą, arba į žibalą, tie skystimai siauruose tarpuose tarp degto pluoštų kįla augštyn. Taip pat paėmus cukraus arba kito kokio akyto kūno gabalą ir palietus tuo gabalu vandens paviršių, per trumpą laiką cukrus sušlampa del to, kad veikiant kapilarinėms jėgoms vanduo išpildo akytes tarp cukraus dalelių. 54 piešinys rodo, kad vandens paviršius tarp dviejų stiklo plokštelių, įmerktų į vandenį plokščiame inde, stovi augščiau, negu išoriniame inde. Juo arčiau bus plokštelės viena prie kitos, juo augščiau stovės tarp jų vanduo. Pastačius abidvi stiklo plokšteles taip, kad jos sudarytų kampą, vandens paviršius tarp jų nupieš kreivą įgaubtą liniją, kurios šaka iš kampo pusės kils augštyn ir stovės juo augščiau, juo arčiau bus prie kampo ir juo mažesnis bus tas kampas. Atvaizduotas čia reiškinys po to, kas anksčiau pasakyta apie kapilarinių jėgų veikimą, nereikalingas paaiškinimo.

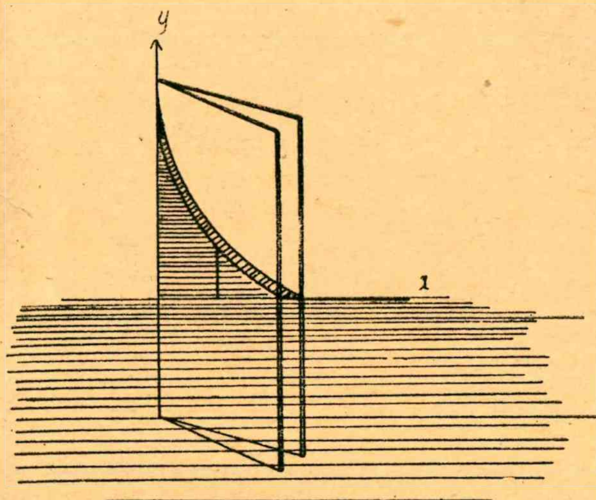

Pieš. 53

Syvai, reikalingi augalų maitinimui, skverbiasi į augalų šaknis iš žemės kapilarinėmis jėgomis, ir tos pačios jėgos kelia tuos syvus prieš svorio jėgą iki augščiausio medžio viršūnės. Arterijų ir venų sistema gyvulių kūne jungiasi vadinamais kapiliriniais indais. Suteikto širdies spaudimu judėjimo momento kraujui nebepakanka, kad pervarytų kraują per tuos siaurus indus į gyvulio audeklus, taip pat kaip širdies siurbimo nebepakanka, kad iš tų audeklų įtrauktų kraują į siaurus vamzdžius, kuriais baigiasi venos. Šitą darbą periferijoj atlieka gyvulio kūne kapilarinės jėgos. Aplamai medžiagos mainymosi procese gyvuose organizmuose kapilarinės jėgos vaidina didelį vaidmenį.

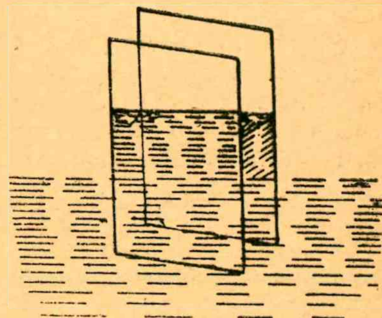
12 §. Difuzija, tirpimas ir osmozas.

Glaudžiame ryšyje su skysčių paviršiaus įtempimu ir, vadinas, su kapilarinių jėgų veikimu, yra dviejų skystimų susimaišymas, arba sumišimas, pavyzdžiui, vandens

ir spirito arba vandens ir acto rūgšties. Kada du skystimai suminša taip, kad per visą mišinį kiekvienam tūrio vienete mes turime tą pačią proporciją abiejų skystimų, taip kad iš dviejų skystimų susidaro naujas, visiškai homogeniškas skystimas, tad mes kalbame apie tirpimą vieno skystimo kitame ir vadiname dviejų skystimų homogeninį mišinį tirpalu. Kalbėdami apie tirpimą vieno kūno kitame, mes eliminuojame fizikoje tuos atsitikimus, kada du, sakysime, skysti kūnai veikia vienas kitą



Pieš. 54a



Pieš. 54b

chemiškai, nes chemiškas veikimas visuomet yra surištas su tam tikrais kiekybiniais abiejų dalyvių santykiais. Homogeninį gi mišinį du kūnai gali sudaryti bet kokiomis proporcijomis. Paėmę vieną dalį spirito ir 99 dalis vandens, mes gausime visiškai homogenišką mišinį, lygiai kaip ir paėmus 1 dalį vandens ir 99 dalis spirito. Bet spiritas ir vanduo reaguoja ir chemiškai vienas į kitą, bet tik tam tikruose kiekybiniuose santykiuose. Taigi čia mes kalbėsime tik apie gryną tirpimą. Be abejojimo, kada kūnai maišosi vienas su kitu, tirpsta vienas kitame, tai yra tam tikro molekulinių jėgų veikimo padarinys, vadinas, esant tam tikriems abiejų kūnų paviršiaus įtempimo santykiams arba kapilarinių jėgų santykiams. Taip pat, kada du skystimai visiškai neminša, tai yra irgi tam tikrų paviršiaus įtempimo santykių padarinys. Užpylus ant vandens paviršiaus maža aliejaus, jis, kaip mes jau žinome, išsitemps vandens paviršiui plonu sluogsniu. Užpylus daugiau, aliejus stovės ant vandens augštu stulpu ir tokioj padėty gali pasilikti neapibrėžtą ilgą laiką. Jeigu smarkiai paskalauti, tai aliejus smulkiausių dalelių pavidalu pasidalys vandeny ir mums net atrodys, kad mes turime homogeninį mišinį, bet, palikus tokį mišinį ramiai stovėti, per pakankamai ilgą laiką aliejus savaime atsiskirs nuo vandens ir susirinks vandens paviršiuj. Tokie mišiniai vadinasi emulsijomis ir savo fizinėmis ypatybėmis, o ypač optikos ypatybėmis, griežtai skiriasi nuo tirpalų, kurių sudėtinės dalys niekuomet savaime nebeatsiskiria viena nuo kitos. Kokį vaidmenį mišimo ir tirpimo reiškiniuose vaidina paviršiaus įtempimo jėgos, tas dalykas nėra dar ir šiandien pakankamai išnagrinėtas ir išaiškintas, bet negali būti jokio abejojimo, kad ir čia veikia minėtos jėgos.

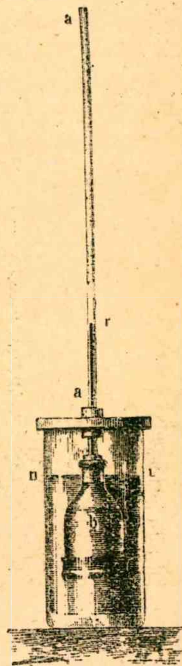
Užpylus atsargiai ant vandens paviršiaus cilindriniam stiklo inde gryno spirito sluogsnį, spiritas per pakankamai ilgą laiką savaime sumiš su vandeniu. Kadangi spirito ir vandens tankumai ir šviesos absorbcija nevienodi, tai atmetę ant ekrano stiklinio indo su vandeniu ir spiritu vaizdą, mes galime net sekti patį mišimo procesą, aiškiai matydami, kaip spirito srovės slenka žemyn į vandenį, o vandens srovės kįla augštyn, nepaisant svorio jėgos veikimo. Aprašytas čia procesas vadinasi fizikoje difuzija. Tą patį procesą mes turėsime atsargiai užpylę ant stipraus, sakysime, druskos tirpalo silpnesnį tirpalą. Per kurį laiką abudu sluogsniai taip gražiai

sumiš difuzijos keliu, jog pasidarys visiškai homogeniškas tirpalas. Taigi ir čia mes turime aiškų judėjimą, kaipo pasekmę molekulinių jėgų veikimo, kurio pirmykštė priežastis, galimas daiktas, yra ta pati, kaip eratiško judėjimo muilo arba komparo dalelių užmestų ant šilto vandens paviršiaus. Tose vietose, kur komparo arba muilo dalelės smarkiau tirpsta, susidaro tirpalas mažesnio paviršiaus įtempimo negu tyro vandens paviršiaus įtempimas, ir todel tempiamos vandens paviršiaus įtempimu tos dalelės netvarkingai bėginėja vandens paviršiumi, nelyginant kaip maži vabzdžiai. Ar šiaip ar taip, bet difuzijos procesas surištas su panašios rūšies jėgomis.

Difuzijos procesas paprastai yra labai lėtas procesas. Kįlant temperatūrai difuzijos procesas darosi greitesnis. Tą patį difuzijos procesą mes turime įmetę į vandenį cukraus arba kokios nors tirpstančios druskos gabalėlį. Cukraus arba druskos dalelės veržiasi nuo cukraus paviršiaus augštyn prieš svorio jėgą. Vandens dalelės slenka žemyn verždamosi į stipresnius cukraus tirpalo sluogsnius, kurie susidaro arčiau prie cukraus. Per pakankamai ilgą laiką cukrus arba druska visiškai išnyksta, ir mes turime homogeninį cukraus arba druskos tirpalą vandenyje. Pavadinsime difuzijos greitumu tą cukraus, druskos arba kito kokio skystimo kiekį, kuris per vieną sekundą pereina per tirpalo skerskrodžio plotą, ir pažymėsime šitą kiekį raide m. Pavadinsime tirpalo koncentracija cukraus arba druskos kiekį viename tirpalo kūb. cm. ir pažymėsime raide c. Cukraus arba druskos dalelių difuzija eina visuomet viena prasme, būtent, nuo didesnės koncentracijos vietų į mažesnės koncentracijos vietas (tuo pačiu laiku vandens dalelių difuzija eina priešinga prasme nuo tų vietų, kur mažiau cukraus arba druskos, į tas vietas, kur daugiau cukraus arba druskos, vadinasi, relatyviai, mažiau vandens — taigi ir vandens dalelės slenka nuo stipresnės vandens koncentracijos vietų į silpnesnės vandens koncentracijos vietas). Fiksavę du tirpalo sluogsnius atstume vienas nuo kito 1 cm. su skerskrodžio plotu q cm^2, mes difuzijos greitumui turėsime toki pat reiškinį, kaip vandens greitumui vienodo diametro vamzdyje, būtent: $m = K.\frac{C_2 - C_1}{1}. q$. Čia C_2 reiškia žemesnio sluogsnio koncentraciją (stipresnis tirpalas), o C_1 augštesnio sluogsnio koncentraciją (silpnesnis tirpalas). Reiškinį $\frac{C_2 - C_1}{1}$ mes galime pavadinti koncentracijos puolimu analogiškai spaudimo puolimui hidrokinetikoje ir galime laikyti difuzijos varomąją jėgą proporcinga šitam koncentracijos puolimui. Koeficientas k vadinasi difuzijos konstanta ir yra ne kas kita, kaip medžiagos kiekis, išreikštas gramais, kuris per 1 sekundą pereina per 1 kv. cm. skerskrodžio ploto, kada atstumas tarp dviejų skerskrodžio plotų yra lygus 1 cm. ir kada koncentracijos skirtumas yra lygus vienetui. Šita konstanta turi didelės reikšmės nagrinėjant tirpimo ir difuzijos procesus.

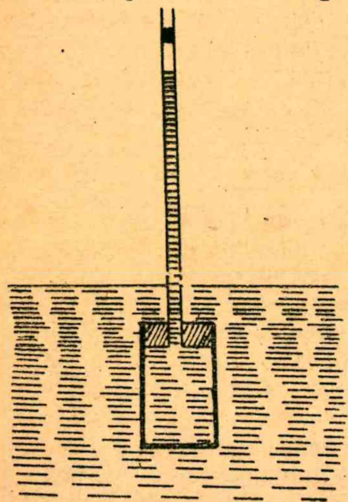
Pažymėsime čia dar, kad duotame vandens kiekyje, arba tūryje, galima ištirpinti tik tam tikrą kiekį tos ar kitos medžiagos ir mes vadiname tirpalą sočiu, kada paimtame vandens kiekyje ištirpintas tasai maksimalis medžiagos kiekis. Aplamai, kįlant temperatūrai vandeny arba kitam kokiam skystime galima ištirpinti daugiau kokios nors medžiagos. Vadinas, sotūs, arba įsotinti, tirpalai augštesnės temperatūros turi didesnę koncentraciją negu žemesnės temperatūros. Iš čia išeina, kad pagaminus sotų cukraus arba druskos tirpalą esant augštesnei temperatūrai ir vėsinant jį, dalis cukraus arba druskos nusistos kristalų pavidalu. Bet būna ir tokių atsitikimų, kada pagaminus sotų tirpalą augštesne temperatūra, kaip, pavyzdžiui, Glaubero druskos su viršum 100^0 temperatūra, ir atvėsinus šitą tirpalą net iki temperatūros 0, nė kiek druskos nenustos. Tokį tirpalą mes vadiname persotintu ir galime palyginti su sistema dalelių arba kūnų, kurie randasi nepastovios pusiausvyros sąlygose. Aplamai pakanka mažiausio impulso įkritusios į persotintą tirpalą dulkelės pavidalu arba mažučio kristalo tokios pat formos, kokią duoda ištirpinta druska, kad akimirkoje nusistotų, išsiskirtų iš tirpalo daug druskos kristalų pavidalu. Difuzijos procesas eina ne tik tokiu atveju, kada du nevienodo stiprumo arba nevienodos koncentraci-

jos tirpalai tos pačios medžiagos randasi tiesioginiame kontakte, bet ir tada, kada jie atskirti vienas nuo kito siena arba diafragma iš smulkiai akytos medžiagos. Paimsime butelį su atmuštu dugnu ir aprišime tą dugną kiaulės pūsle arba pergamentu. Įpilsime į butelį su tokiu dugnu spirito iki kaklo krantų ir užkišime kamščiu su išgręžta per jo vidurį skyle, per kurią įstumsime į spiritą stiklinį vamzdį (žiūr. 55 pieš.). Įdėsime taip paruoštą butelį su spiritu į didesnį indą su vandeniu taip, kad butelis visas būtų vandeny. Mes pamatysime, kad skystimas tuojau ims kilti augštyn vamzdyje ir pagaliau pasieks nemažo augščio. Dalykas tas, kad per akytą diafragmą (kiaulės pūslę arba pergamentą) vanduo veržiasi prieš svarumo jėgą į spiritą, o spiritas veržiasi per tą pačią diafragmą į vandenį. Toks difuzijos procesas per diafragmą vadinasi osmozas (vandens difuziją į spiritą galime čia pavadinti endosmozu, o spirito difuziją iš butelio į vandenį ekzosmozu; endosmozas reiškia difuziją į vidų, ekzosmozas — difuziją iš vidaus). Kadangi per kiaulės pūslę arba per pergamentą vandens molekulos pereina lengviau negu spirito molekulos, matyt, todel, kad vandens molekulų diametras yra žymiai mažesnis negu diafragmos akyčių diametras, tai spirito - vandens mišinys kįla augštyn vamzdyje. Konkrečiai kalbant, norint neleisti spirito - vandens mišiniui kilti augštyn vamzdyje, reikėtų paveikti tirpalo paviršių butelyje tam tikru spaudimu, kas faktinai galima padaryti. Taigi čia kalbama apie osmotinį spaudimą, kaipo apie tikrą priežastį difuzijos per diafragmą. Aišku, kad į hidrostatinį spaudimą pakilusio vamzdyje tirpalo stulpą galima žiūrėti kaipo į osmotinio spaudimo matą. Bet tiksliai nustatyti osmotiniam spaudimui spirito, cukraus, kokios nors druskos, šarmo arba rūgšties molekulų vandeny nei kiaulės pūslė nei pergamentas netinka kaipo diafragmos. Kiaulės pūslė ir pergamentas, pavyzdžiui, perleidžia ir vandens molekulas ir spirito molekulas, tik nevienodai — vandens molekulas lengviau, spirito molekulas sunkiau. Taigi su tokia diafragma, nustatant molekulų osmotinį spaudimą, mes gausime permažus dydžius. Jeigu mes paimtume diafragmą iš kaučiuko, tai tada greičiau difunduotų spirito molekulos negu vandens molekulos, ir mes ne tik nematytume tirpalo paviršiaus kilimo augštyn butelyje, bet atbulai, tas paviršius slinktų žemyn. Taigi, norint nustatyti osmotinį spaudimą tos ar kitos rūšies molekulų, reikia turėti tokias diafragmas, arba plėkšneles, arba membranas, kurios perleidžia tik vienos rūšies molekulas. Tokios diafragmos vadinasi puslaidės (perpus perleidžiančios, semipermeabilinės). Tokią diafragmą galima, pavyzdžiui, pagaminti paėmus nedidelį mažai apdeginto molio (koalino) cilinderį, kurie vartojami galvaniniams elementams. Į tokį akytą cilinderį reikia įpilti vario sulfato tirpalo ir įdėti jį į stiklinį indą su kalioferrocianato (geltonoji geležinė kraujo druska) tirpalu. Į cilinderio akytes iš vienos pusės veržiasi vario sulfato molekulos, o iš kitos pusės kalioferrocianato molekulos. Taigi akytėse, kur jos susiduria, eina reakcija: $K_4Fe(CN)_6 + 2CuSO_4 = 2K_2SO_4 + Cu_2Fe(CN)_6$. Akytėse susitaupo $Cu_2Fe(CN)_6$ vario geležies cianatas, kuris, kaip koki membrana, uždaro tas akytes taip, kad daugumos druskų, šarmų ir rūgščių molekulos per jas nepereina, bet vandens molekulos lengvai pereina. Taigi palaikę kurį laiką molio cilinderį kontakte su tirpalais viršuj minėtų dviejų druskų ir paskum išplovę jį gerai vandeniu, mes turėsime puslaidę diafragmą. Įpilsime dabar į tokį cilinderį, sakysime, cukraus 1% tirpalo iki jo krantų, užkišime jį kaučiuko kamščiu su išgręžta per jo vidurį skyle, o per šitą skylę įkišime į kamštį ilgesnį stiklo vamzdį taip, kad to vamzdžio apatinis galas būtų cukraus tirpale (žiūr. 56 pieš.). Įmerksime taip paruoštą cilinderį su cukraus tirpalu į vandenį, esantį didesniame inde, taip, kad vanduo apsemtų jį iš visų pusių. Vanduo tuojau ima veržtis į cukraus tirpalą cilindery (endosmozas), ir skystimas vamzdyje ima kilti augštyn. Cukraus gi molekulos negali išeiti iš cilinderio, nes jų neperleidžia augščiau minėtu būdu paruošta diafragma. Daro tokį įspūdį, kad cukraus mo-



Pieš. 55

lekulos stengiasi, kaip dujų molekulos uždarytame elastingame inde, padidinti vandens tūrį molio cilindery, vadinas, ištempti tirpalo paviršių. Kaipo išdava tokio tempimo arba spaudimo cukraus molekulų į vandens paviršių, vandens molekulos veržiasi iš išorinio indo į cilinderį tol, kol pakilęs vamzdyje skystimo stulpas savo hidrostatiniu spaudimu atsvers cukraus molekulų osmotinį spaudimą. Jeigu į cilinderio kamštį įdėtas ilgas vamzdis ir jeigu palauktume, kol skystimas vamzdyje nustos kilęs augštyn (laukti tektų gan ilgai, nes difuzijos procesas yra labai lėtas procesas), tai mes konstatuotume, kad skystimo stulpas vamzdyje pasieks apie 6, 7 metrų augščio, kas atatinka spaudimui gyvojo sidabro stulpo 49,3 cm. augščio (daugiau kaip pusės atmosferos spaudimas). Taigi įvairiais būdais galime nustatyti, kad cukraus molekulų osmotinis spaudimas 1% tirpale yra lygus, esant 0 temperatūrai' 49,3 cm. gyvojo sidabro stulpo. Paėmus salietros (kalio salietros) 1% tirpalą, mes konstatuotume, kad tas spaudimas yra daug didesnis, būtent, yra lygus gyvojo sidabro stulpui 228 cm. augščio (lygiai 3 atmosferos). Osmozo reiškiniai pirmą sykį buvo konstatuoti prancūzo Dutrochet 1826 metais. Vėliau tais reiškiniais užsiėmė garsus vokiečių botanikas Pfeffer'is ir įvairių membranų pagalba iš augalų ir gyvulių plėkšnių nustatė osmotinio spaudimo didumą, lygiai kaip ir jo pareitį nuo koncentracijos ir nuo temperatūros įvairioms medžiagoms. Jis konstatavo, kad silpnesnių tirpalų osmotinis spaudimas yra tiesioginai proporcingas koncentracijai (2% cukraus reiškia jau osmotinį spaudimą apie 100 cm. gyvojo sidabro stulpo) ir auga kįlant temperatūrai taip pat, kaip auga dujų spaudimai kįlant temperaturai, būtent, einant Gay-Lussac'o dėsniu. Remdamasis jo ir kitų darbais garsus Holandijos, o paskum Vokietijos, fiziko-chemikas van't Hoff'as paskelbė dėsnį, kad silpnuose tirpaluose molekulos randasi tokiam pat stovyje, kaip dujose, vistiek, ar tai bus kietų, skystų, ar dujiškų kūnų molekulos. Taigi, anot van't Hoff'o, 1 gramas cukraus, ištirpintas 100 cm.^{3} vandens reiškia tokį pat spaudimą į vandenį, kokį reikštų $^1/_{842}$ gram. molekulos cukraus dujiškam stovyje, jeigu ji užimtų 100 kūb cm. tūrį.



Pieš. 56

Pabrėšime čia dar vieną sykį, kad šiandien galima žiūrėti į difuziją, kaipo į osmotinio spaudimo išdavą ir tada, kada du nevienodos koncentracijos tirpalo sluogsniai neatskirti vienas nuo kito diafragma, bet randasi betarpiame kontakte. Pagaliau aišku, kad visi šitie reiškiniai, neišskiriant įvairios rūšies diafragmų veikimo, yra glaudžiame ryšyje su kietų ir skystų kūnų paviršiaus įtempimo reiškiniais, bet tas dalykas iki šiandien nėra pakankamai išnagrinėtas. Šita sritis laukia dar iš fizikų ir chemi kų daug darbo, kuris, be abejojimo, duos gerų vaisių ir nušvies ne tik visą tirpalų srit į, kur dar yra daugybė neišspręstų klausimų, bet ir padės prieiti prie tikros įvairių izinių stovių teorijos.

Anglas Graham'as, kuris irgi nagrinėjo endosmozo ir ekzosmozo reiškinius, konstatavo, kad visi kūnai, kurie duoda kristalų, palyginti, lengvai pereina diafragmas. Tokie gi kūnai, kaip, pavyzdžiui, baltymai, klijus, krakmolas, kurie neduoda kristalų arba tik tam tikromis aplinkybėmis sunkiai juos tesudaro, nepereina per diafragmas. Taigi Graham'as padalijo kūnus į dvi kategorijas: į kristaloidus, kurie, palyginti lengvai pereina per diafragmas, ir į koloidus, kurie nepereina per diafragmas. Augalų ir gyvulių audeklai daugiausia sudaryti iš koloidų, ir tos koloidinės materijcs stovis turi ypatingos reikšmės gyvybės reiškiniuose. Remiantis Graham'o pastebėtu skirtumu lengva atskirti koloidus nuo kristaloidų. Paimsime trumpą stiklinį arba kaučiukinį cilinderį be dugno, aprišime jo apatinį galą kiaulės pūsle arba pergamentu. Įpilsime į jo tirpalą kokio nors koloido, pavyzdžiui, albumino, sumaišyto su kokios nors druskos arba rūgšties tirpalu, arba įpilsime į jį trichlorinės geležies tir-

palą, pridėję truputį druskos rūgšties, ir įdėsime jį į platesnį indą su vandeniu taip, kad tik jo dugnas raslųsi vandeny. Druskos, rūgšties ir aplamai bet kokio kristaloido molekulos išeis per diafragmą į vandenį išoriniame inde, o cilinderyje pasiliks tik oloidinis albumino tirpalas arba geležies trideginio trihidratas $[Fe_2(OH)_6]$. Šitas nuo Graham'o laikų praktikuojamas būdas atskirti koloidams nuo kristaloidų ir koloidiniams tirpalams sudaryti vadinasi dializas.

Endosmozo ir ekzosmozo reiškiniai, kurie surišti su molekuliniu jėgų veikimu (paviršiaus įtempimu kietų ir skystų kūnų kontakte), turi didžiausios reikšmės gyvoje gamtoje, nes medžiagų mainų procesas, kuris sudaro dinaminį gyvasties pagrindą organizmuose, tarp organizmo atskirų celių grupių, lygiai kaip ir per indus, žarnų sienas ir kitus audeklus, eina endosmozo ir ekzosmozo keliu. Pupos, žirniai, miežiai, įmerkti į vandenį, brinksta, nes endosmozo keliu į sėklos arba grūdo celes įsiveržia daugiau vandens, negu ekzosmozo keliu išeina iš celių skystimo. Atbulai, apipylus mėsą druska, ekzosmozo keliu iš raumenų celių druska ištraukia daug skystimo, ir tokia mėsa ilgesnį laiką išsilaikys, nepasiduodama puvimo procesui, nes sumažinus vandens tūrį celėse, nusilpnės jose įvairūs chemijos procesai.

Technika irgi plačiai naudojasi endosmozu, ekzosmozu ir dializu, gamindama įvairių ekstraktų, pavyzdžiui, ekstraguodama cukrų iš burokų vandens pagalba.

13 §. Dujos (gazai). Aerostatika.

Jeigu mes kambary atdarame inde paliksime kokias nors dujas, pavyzdžiui, anglies rūgštį, tai per kurį laiką tos dujos pasklis po visą kambarį. Aplamai dujos stengiasi užimti kuo didžiausį tūrį, stengiasi išpildyti bet kokį tūrį ir, vadinas, neturi savo tūrio. Tuo dujos skiriasi nuo kietų ir nuo skystų kūnų. Be to, dujos neturi ir savo formos, kuri pareina nuo traukos tarp molekulų. Taigi išeina, kad ta molekulinė trauka dujose yra labai silpna. Kaipo išdava abiejų augščiau nurodytų aplinkybių, dujos neturi paviršiaus ir todel nereiškia paviršiaus įtempimo jėgų.

Dujų tendencija išsiplėsti, užimti kuo didžiausį tūrį, galima demonstruoti paėmus minkštą pūslę, išspaudus iš jos daugumą oro ir, užrišus siūlu skylę, padėjus ant oro siurblio lėkštės. Uždengus stikliniu gaubtu ir evakuojant orą, pūslės tūris ims žymiai augti ir pūslė gali net sprogti. Vadinas, oras, uždarytas pūslėje, mažinant išorinį spaudimą į ją, stengiasi užimti vis didesnį ir didesnį tūrį. Taigi išeina, kad oro tūris ir, aplamai, dujų tūris pareina nuo išorinio spaudimo.

Kaipo išdava pažymėtos čia tendencijos išsiplėsti, dujos reiškia spaudimą į indo šonus, kuriame jos uždarytos, o į tą dujų tendenciją išsiplėsti žiūrima šiandien kaipo į didelio dujų dalelių judingumo vaisių, taip kad atsparos jėgos dujose yra žymiai didesnės negu traukos jėgos tarp molekulų. Kalbėdami apie dujų statiką, mes pirmiausia turėsime omeny vadinamąsias idealines dujas, kuriose molekulinė trauka yra lygi nuliui ir kurių molekulos yra, palyginti su užimtu jų tūriu, labai mažo diametro, taip kad tas molekulas galima palyginti taškams.

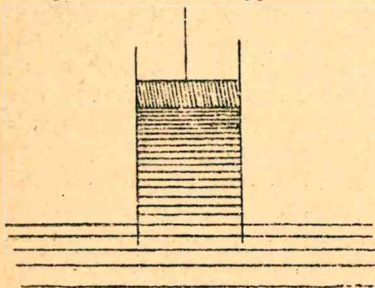
Del didelio dujų judingumo, dujos kai kuriais atvejais yra panašios į skysčius, ir todel dujoms veikia žinomi jau mums hidrostatikos dėsniai. Dujos, kaip ir skysčiai, perduoda spaudimą į visas puses vienodai. Spaudimas į indo dugną arba į šonus pareina tik nuo dujų augščio stulpo, kuris pasirėmęs ant dugno arba ant šono paviršiaus dalies, ir nuo jų tankumo. Pagaliau kūnai, įmerkti dujose, yra įtakoj spaudimo augštyn, kuris yra lygus kūno, išstumto dujų, svoriui. Vadinas, dujoms, lygiai kaip ir skysčiams, turi galios Archimedo dėsnis, kuriuo einant visi kūnai ore arba kitose dujose sveria mažiau kaip tuštumoje.

14 §. Oro ir dujų svarumas. Torricelli'o eksperimentas. Gyvojo sidabro barometrai. Aneroidai. Barometrai kaipo oro spėjikai.

Palyginti nesenai konstatuota, kad oras, lygiai kaip ir kitos dujos, turi svarumą ir šituo atveju niekuo nesiskiria nuo kitų fizinių kūnų. Ilgai net gudruoliai

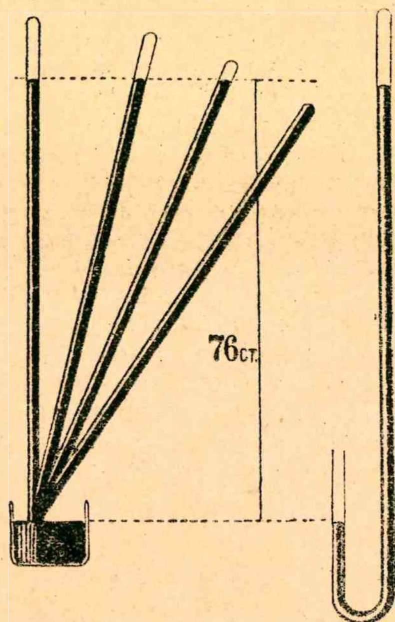
žmonių tarpe, lygino orą ir kitas dujas su dvasia ir manė, kad, kaip ir dvasia, oras ir dujos nesveria. Net ir Aristotelis nebuvo tvirtai įsitikinęs, kad oras sveria. Oro svarumas pirmą sykį buvo aiškiai konstatuotas 1644 metais gabiausio iš Galilejaus mokinių—Torricelli'o (1608—1647) šiomis aplinkybėmis.

Paimsime platų vamzdį su stumikliu ir, nustūmę stumiklį iki pat vamzdžio galo, įdėsime šito vamzdžio galą į vandenį (žiūr. 57 pieš.). Keliant dabar stumiklį augštyn, vanduo seks jį kildamas irgi augštyn. Kas gi čia varo vandenį augštyn? Senovėje ir viduramžyje tvirtai buvo tikima, kad «natura horret vacuum», kad gamta bijo tuštumos ir kadangi, keliant stumiklį augštyn, tarp vandens ir stumiklio paviršiaus darosi tuštuma, tai vanduo, arba net ir kitas koks skystimas, tuojau užima šitą tuštumą. Nuo seniausių laikų žmonės vartoja vandens siurblius (šulinius — pumpas) ir per ilgus amžius niekam ir į galvą neatėjo paieškoti išorinės jėgos, kuri varo vandenį augštyn. 1644 metais Florencijoje statomas buvo šulinys—siurblys taip, kad pakeltų vandenį iš gilaus šulinio į 3-ią namų augštą. Pasirodė, kad vanduo pakilo tik 34 pėdų augščio (truputį daugiau kaip 10 metrų) ir, nepaisydamas tuštumos, augščiau nekilo. Taigi čia aiškiai pasirodė, kad gamta nebijo tuštumos, ir buvęs šito atsitikimo liudininku Torricelli, kuris jau anksčiau nebetikėjo tąja gamtos baime ir ieškojo išorinės jėgos, kuri varo vandenį augštyn, spėjo, kad ta jėga yra ne kas kita, kaip oro spaudimas, kuris yra oro svarumo išdava. Torricelli samprotavo taip. Vanduo ir oras sudaro kaip ir du skysčiu nevienodo lyginamojo svorio: ant vandens paviršiaus šuliny remiasi oro stulpas, o ant vandens paviršiaus siurblio vamzdyje remiasi vandens stulpas. Taigi mes čia turime susieinamą indą su dviem skystimais, ir tų skystimų augščiai privalo būti atvirkščiai proporcingi jų tankumams. Kad Torricelli būtų žinojęs oro tankumą ir oro stulpo augštį, tai jis būtų galėjęs iš anksto apskaityti, iki kokių augščių vanduo gali pakilti siurblyje. Bet Torricelli laikais oras nebuvo sveriamas ir nebuvo jokio galimumo jį atsverti. Todel savo spėjimui patikrinti Torricelli ieškojo netiesioginių priemonių. Jis manė, kad jeigu vien oro spaudimu vanduo gali pakilti iki 34 pėdų augščio, tad sunkesnis skystimas, pavyzdžiui, gyvasai sidabras, bus pakeltas iki mažesnio augščio, būtent, tiek sykių mažesnio, kiek sykių tasai skystimas yra sunkesnis už vandenį. Gyvojo sidabro lyginamasai svoris yra 13,6. Vadinas, oro spaudimas gali palaikyti gyvojo sidabro stulpą $\frac{34}{13,6} = 2,5$ pėdų. Skaitant centimetrais, tai bus 76 cm. Taigi paėmęs stiklinį kokių 3 pėdų (apie 90 cm.) ilgio vamzdį, užlydytą vienu galu, Torricelli pripylė jį iki krantų gyvojo sidabro taip, kad oras iš vamzdžio buvo pašalintas. Užkimšęs atdarą vamzdžio galą pirštu, jis apvertė vamzdį šituo galu žemyn, ir įdėjo šitą galą į puodelį su gyvuoju sidabru (žiūr. 58 pieš.). Atitraukus jam pirštą, gyvojo sidabro stulpas paslinko kiek žemyn, bet nusistatė 76 cm. augštyje. Taigi Torricelli spėjimas pasitvirtino, ir nuo to laiko nebebuvo abejojimų, kad oras turi svorį kaip ir kiti fiziniai kūnai ir savo sunkumu spaudžia kūnų paviršius, kuriais jis remiasi. Oras pavidalu milžiniškos sferos yra apsupęs žemę, ir oro dalelės nenutolsta nuo žemės del žemės traukos veikimo. Šita oro sfera vadinasi atmosfera, ir oro spaudimas paprastai vadinasi atmosferos spaudimu. Kad mes žinotume atmosferos ribas (tarp mokslininkų eina dar šiandien ginčai del tų ribų: vieni mano, kad oro sluogsnio apie žemę storumas yra 20 kilometrų, o kiti mano, kad apie 200 kilometrų), tai priimdami domėn, kad oras yra gniužus skystis, ir kad jo tankumas pareina nuo spaudimo, vadinas, nuo oro sluogsnio augščio, mes galėtume nustatyti matematikos keliu pareitį oro tankumo nuo augščio ir apskaityti oro spaudimą. Kadangi mes atmosferos ribų nežinome, tai mums ir šiandien tenka matuoti oro spaudimas Torricelli'o metodu ir iš to matavimo spręsti apie oro stulpo svorį, skaitant tą stulpą nuo

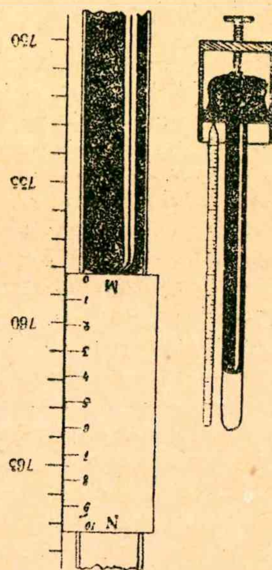


Pieš. 57

nežinomų mums atmosferos ribų iki žemės paviršiaus. Iš Torricelli'o eksperimento išeina, kad gyvojo sidabro stulpo svoris yra lygus svoriui oro stulpo, kuris remiasi tokiu pat plotu, kaip gyvasai sidabras, ir kuris prasideda nuo atmosferos ribų. Paėmę Torricelli'o eksperimentui vamzdį, kurio skerskrodžio plotas yra lygus 1 kv. cm., mes turėsime gyvojo sidabro stulpą 76 kūb. cm. tūrio. Kadangi gyvojo sidabro lyginamasai svoris, esant temperatūrai 0, yra lygus 13,6, tai to stulpo svoris bus 1033,6 gramų. Vadinas, oro stulpas nuo atmosferos ribų iki žemės paviršiaus, kuris remiasi plotu 1 kv. cm., sveria 1033,6 gramų. Kitaip sakant, atmosferos spaudimas ant vieneto ploto (ant kiekvieno kv. cm.) yra lygus 1033,6 gramo arba truputį daugiau kaip 1 kilogramas. Tuo būdu Torricelli pirmutinis netiesioginai atsvėrė orą. Šiandien galima tiesioginai atsverti orą, paėmus stiklo indą siauru, ilgu kaklu ir su bėgtuvu. Žinomu jau mums būdu galima surasti šito indo talpumas. Oro siurblio pagalba galima evakuoti šitą indą (ištraukti iš jo orą) ir atsverti. Paskum atsverti jį su oru. Tų dviejų svorių skirtumas duos mums oro svorį inde. Tokiu būdu nustatyta, kad esant temperatūrai 0 ir atmosferai spaudimo, 1 litras oro sveria 1,293 gramus. Kalbant apie oro arba kitų kokių dujų tūrio vieneto svorį arba tankumą, reikia visuomet pažymėti temperatūrą ir išorinį spaudimą, kuriems esant tas tankumas nustatytas, nes tas pats kiekis dujų gali užimti įvairius tūrius esant įvairiems spaudimams ir temperatūroms.



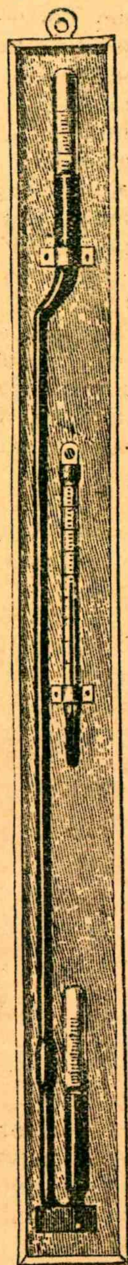
Pieš. 58



Pieš. 59

Atmosferos spaudimas nėra pastovus dydis. Kada į orą įsimaišo kitos dujos, pavyzdžiui, vandens garai, anglies rūgštis, tai oro tankumas mainosi. Vadinasi, mainosi ir oro stulpo svoris, kuris remiasi tam tikru paviršium. Pavyzdžiui, prisimaišant vandens garams prie oro jis darosi lengvesnis, nes vandens garų tankumas yra mažesnis, negu oro tankumas, ir tada atmosferos spaudimas mažėja. Taip pat įvairiuose augščiuose nuo žemės paviršiaus oro sluogsnių tankumas nevienodas, nes oras, kaip ir kitos dujos, yra gniužus skystis. Vadinasi, juo arčiau prie žemės, juo labiau bus oras suspaustas ir juo didesnis bus jo tankumas, ir atbulai. Ant augštų kalnų oro spaudimas yra žymiai mažesnis, negu slėnyse. Šitas faktas buvo konstatuotas tuojau po Torricelli'o išradimo. Jau minėtas gamtininkas ir manytojas Pascal'is su aparatu, panašiu į Torricelli'o priemonę, nustatė atmosferos spaudimą ant kalno Pui de Dome viršūnės, Prancūzijoj, Overne, ir žemai to kalno slėnyje ir konstatavo spaudimo skirtumą. Kadangi atmosferos spaudimas turi įtakos įvairiems reiškiniams

ant žemės, tai svarbu turėti parankią priemonę šitam spaudimui nustatyti. Aparatai atmosferos spaudimui nustatyti vadinasi barometrai (graikiškas žodis, reiškia—sunkumo matuotojai). Paprasčiausias barometras panašus į Torricelli'o priemonę (žiūr. 58 pieš.). Jis susideda iš nedidelio stiklinio indo su gyvuoju sidabru, į kurį įleistas atdaras galas nedidelio kalibro stiklinio vamzdžio iš storo stiklo (vadinamo barometrinio vamzdžio), pripilto gyvojo sidabro. Vamzdžio ilgis turi būti ne mažesnis kaip 80 cm., ir kadangi gyvojo sidabro stulpas stovi žemiau, tai viršum to stulpo susidaro tuštuma (vadinamoji Torricelli'o tuštuma). Prie vamzdžio turi būti pritaikinta skala (mastinė tiesyklė) iš medžio, stiklo arba metalo, kurios pagalba galima būtų visuomet «atskaityti barometras», vadinasi, nustatyti gyvojo sidabro stulpo augštis, kuris kompensuoja atmosferos spaudimą į gyvojo sidabro paviršių platesniame inde arba puodely. Mažėjant del kokios nors priežasties atmosferos spaudimui, gyvasai sidabras barometriniame vamzdyje slenka žemyn, o platesniame inde kįla truputį augštyn, taip kad skalos nulis, kuris iš pradžios buvo sulig gyvojo sidabro paviršium puodely, atsiranda žemiau šito paviršiaus. Atmosferos spaudimui didėjant, gyvojo sidabro stulpas vamzdyje eina augštyn, gyvojo sidabro paviršius puodely paslenka truputį žemyn, ir skalos nulis atsiranda augščiau gyvojo sidabro paviršiaus. Jeigu skala turi padalinimus augščiau nulio iki 800 mm. ir žemiau nulio kokį 10 padalinimų, tai toks gyvojo sidabro paviršiaus svyravimas puodelyje nesudaro kliūties barometrui atskaityti, nes kiekvienu atveju atmosferos spaudimas matuojamas gyvojo sidabro stulpu, skaitant to stulpo augštį nuo gyvojo sidabro paviršiaus puodelyje ligi gyvojo sidabro meniskų vamzdyje, vadinasi, lygumų gyvojo sidabro paviršių vamzdyje ir puodelyje skirtumu. Bet kadangi faktinai gyvojo sidabro stulpas barometriniame vamzdyje svyruoja palyginti nedidelėse ribose (tarp 700 ir 780 mm.), tai skala be nulinio bruožo apačioj turi dar padalijimus tik savo viršutinėj daly (paruošti tokiai skalai apsieina pigiau, vadinasi, barometras su tokia skala bus pigesnis). Tokiais atvejais reikia padaryti arba skala arba puodelio dugną judomus (kilnojimus, 59 pieš.), kad kiekvieną sykį galima būtų skalos nulinį bruožą nustatyti ties gyvojo sidabro paviršium platesniame barometro inde. Gyvojo sidabro stulpui nuslinkus žemyn, reikia skala pakelti, pakilus gi tam stulpui augštyn, reikia skala nuleisti. Išorinio barometro indo dugną galima padaryti iš storos odos ir į tą dugną įremti sraigtą su mūterka. Barometrui pakilus, sraigtas sukamas ta prasme, kad dugno vidurys pakiltų kiek augštyn. Tada mes pakelsime gyvojo sidabro paviršių išoriniame inde ir tuo būdu nustatysime jį ties nuliniu skalos bruožu. Barometrui gi puolant, reikia sraigtas sukti ta prasme, kad išorinio indo dugnas išsigaubtų išorinai, nes tada gyvojo sidabro paviršius inde slenka žemyn.


Pieš. 60

Norint išvengti šitų prietaisų ir padaryti kuo paprastesnį barometro atskaitymą, dažniau vartojami vadinamieji sifoniniai gyvojo sidabro barometrai (60 pieš.). Sifoninis barometras yra barometrinis vamzdis, kurio vienas galas uždaras, o kitas, atvirasis galas, užlenktas augštyn (turi pavidalą U vamzdžio, kurio viena dalis yra žymiai trumpesnė, negu kita dalis). Toksai vamzdis reikia iš pradžios pripilti gyvojo sidabro taip, kad iš ilgesnės jo šakos, kurios galas uždaras, išvarytų visą orą, ir paskum apversti atdaru galu augštyn. Tada gyvasai sidabras stovi žymiai augščiau ilgesnėje šakoje, kaip trumpesnėje, ir skirtumas gyvojo sidabro meniskų augščio duoda gyvojo sidabro stulpo augštį, kuris kompensuoja atmosferos spaudimą (savaime aišku, kad augščiau gyvojo sidabro menisko ilgesnėje šakoje randasi

Torricelli'o·tuštuma). Kad galima būtų atskaityti meniskų augščių skirtumą, toksai vamzdis turi būti tinkamai suderintas su kilnojamąja skala, kuri, be to, turi būti aprūpinta nonijum, kad galima būtų atskaityti milimetro dalys. Puolant barometrui, meniskas atdaroje, trumpesnėje šakoje kįla augštyn ir tada tenka kelti ir skala augštyn, kad menisko paviršius būtų ties nuliniu skalos bruožu. Kįlant gi barometrui reikia skala leisti žemyn. Paprastai ir čia skala turi padalijimus tik savo viršutinėje dalyje.

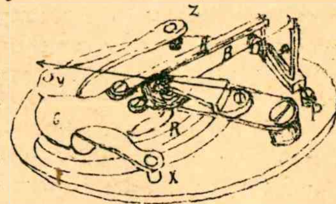
Pabrėšime čia dar, kad gaminant gyvojo sidabro barometrus imama stori stikliniai vamzdžiai, kurių vidujinis diametras esti nuo 3 iki 5 milimetrų. Kanalai tų vamzdžių turi būti rūpestingai išvalyti ir išdžiovinti, lygiai kaip ir vartojamas gyvasai sidabras.

Taigi atmosferos spaudimą mes matuojame gyvojo sidabro stulpu, kuris atsveria oro stulpą, skaitant to stulpo augštį nuo tam tikro paviršiaus iki atmosferos ribų. Bet įvairūs paviršiai ant žemės randasi įvairiuose augščiuose. Fizikoje priimta pradėti skaityti oro stulpo augštį nuo okeano paviršiaus 45^0 geografinės platumos. Taigi okeano paviršiui mes, taip sakant, sauvališkai primetame nulio augštį. Atmosferos spaudimas, kaip ir kiekvienas spaudimas, yra jėga, veikianti ploto vienetą (1 kv. cm.), ir ta jėga gali būti išreikšta dinomis. Taigi tokiais atvejais mums reikės dauginti gramus iš žemės greitėjimo g, kuris pareina nuo geografinės platumos. Todel ir priimta atskaitytą barometro parodymą visuomet redukuoti vidutinės geografinės platumos 45^0 atžvilgiu. Be to, kad galima būtų atsverti tą patį oro stulpą, gyvojo sidabro stulpas bus augštesnis augštesnės temperatūros ir žemesnis žemesnės temperatūros, nes temperatūrai kįlant, mažėja gyvojo sidabro tankumas. Todel priimta fizikoje bet kokioj vietoj atskaitytą barometro parodymą perskaityti, arba redukuoti jį, 0-ine temperatūra. Pagaliau, atskaitant barometrą, reikalingos dar pataisos del skalos keitimosi nuo šilimos, lygiai kaip ir pataisos del vadinamosios kapilarinės depresijos, nes, kaip mes jau žinome, gyvojo sidabro meniskas angštame vamzdyje visuomet stovi kiek žemiau, kaip platesniame vamzdyje (šitos paskutinės pataisos nereikia sifoniniam barometrui, jeigu jo abiejų šakų diametrai vienodi, taip pat jos nereikia ir puodelio barometrui, jeigu vamzdžio diametras, arba skersmuo, yra nemažas, sakysime, apie 1 cm.). Mes vėliau smulkiai susipažinsime (šilimos skyriuje) su būdais visoms toms pataisoms apskaityti. Čia tik pažymėsime, kad atskaičius barometro stovį ir temperatūrą (vadinasi, prie kiekvieno barometro turi būti termometras) ir žinant barometrinio vamzdžio skersmenį, galima visos tos pataisos surasti tam tikrose fizikos lentelėse.

Tiktai okeano lygio 45^0 geografinėj platumoj barometro stulpas yra lygus 760 milimetrų, jeigu gyvojo sidabro temperatūra yra lygi nuliui. Jeigu toksai atmosferos spaudimas nusistato bet kur kitur, tai tokį spaudimą mes vadiname normaliniu atmosferos spaudimu.

Abiejų rūšių gyvojo sidabro barometrai yra pagrindiniai instrumentai oro spaudimui nustatyti ir todel vadinami «Standard - Barometrais». Bet jie nepakankamai patogūs praktiškiems gyvenimo reikalams ir vartojami daugiausia mokslo įstaigose. Paprastam gyvenime vartojami nedideli metaliniai barometrai, vadinami «Aneroidai» (graikiškas žodis, reiškia be oro, beoriniai). Tokio metalinio barometro konstrukciją atvaizduoja 61 piešinys. Esencialę jo dalį sudaro plokščia nedidelė dėžė R iš plono metalo), vilnėtu, banguotu viršutiniu paviršium. Iš tos dėžės oras evakuotas. Taigi išorinis atmosferos spaudimas suplotų tą dėžę visiškai. Kad to neatsitiktų, su vilnėtu paviršium tvirtai sujungtas vienas galas sulenktos elastingos metalinės plokštelės. Kitas jos galas taip pat tvirtai sujungtas su žastu XY metalinio lanko XYZ. Taigi tos plokštelės elastingas pasipriešinimas neduoda išoriniam spaudimui visiškai suploti dėžės R, bet nekliudo, svyruojant atmosferos spaudimui, šiek tiek susiploti arba išsitaisyti šitai dėžei R (jos vilnėtas paviršius, vadinasi, padidintas paviršius, daro to paviršiaus svyravimus jautresnius išorinio spaudimo atžvilgiu. Kad dėžės paviršiaus judėjimus (svyravimus augštyn ir žemyn) suteiktum iešmai-rodyklei, kuri sukasi į vieną arba į kitą pusę ties tam tikra skala su

padalijimais, rodančiais atmosferos spaudimą, — dėžės R paviršius toj vietoj, kur jis tvirtai sujungtas su elastingos plokštelės C galu, irgi tvirtai sujungtas su žastu A laibo metalinio stiebo pavidalo, kurio kitas galas turi štiftą. Tasai štiftas, arba vinelė, sujungtas su viduriniąja šaka dvigubo velenėlio, kurio išorinė šaka gali suktis į vieną ar į kitą pusę ant štiftų PP. Svyruojant dėžės R paviršiui, žastas A iššauks svyravimą dvigubo velenėlio PP, padidinus tą svyravimą 3,4 sykius. Iš dešinės pusės iš oro matyti mažutis sraigtas, kurio pagalba galima labiau ar mažiau atlenkti vidurinė velenėlio šaka ir tuo būdu nustatyti reikiamą judėjimo padidinimą. Ant dešiniojo velenėlio galo yra stiebas, nuo kurio eina šniūrelis apmestas apie skridinį, su kurio ašimi yra tvirtai sujungta rodyklė. Kitas to šniūrelio galas sujungtas su plauko spyruokliu H, kuris ir laiko šitą šniūrelį ištemptą. Dėka tokių priemonių oro spaudimo svyravimas yra padidintas keletą šimtų sykių ir todel darosi aiškiai matomas ir duoda galimumo atskaityti milimetrus ir net jų dalis. Augant spaudimui dėžė R plojasi, elastingos metalinės plokštelės C galas eina žemyn ir traukia žemyn svirties A galą, kurios kitas galas suka velenėlį PP taip, kad iešma-rodyklė slenka iš kairės į dešinę pusę ties tam tikra skala su padalijimais. Mažėjant spaudimui, dėžė R atsitaiso, plokštelės C galas kįla augštyn, velenėlis sukamas į kitą pusę ir iešma-rodyklė eina iš dešinės į kairę pusę. Skalos padalijimai turi būti nustatyti pagal gyvojo sidabro barometro parodymus. Taigi aneroidai visuomet tikrinami gyvojo sidabro barometro pagalba.



Pieš. 61

Kaip jau anksčiau pasakyta, kitas galas sulenktos elastingos plokštelės C pritrauktas prie plokščio stiebo XYZ pavidalo |_. To stiebo galas Z randasi prie sraigto, kurio pagalba galima šitą galą pakelti truputį augštyn arba nuleisti žemyn ir tuo būdu truputį keisti įtempimą elastingos plokštelės C ir, vadinas, jos veikimą dėžei R, svirčiai A ir pagaliau iešmos-rodyklės judėjimui. Taigi darant palyginimą su gyvojo sidabro barometru, šito straigto Z pagalba galima visuomet suderinti iešmos-rodyklės parodymus su gyvojo sidabro parodymais. Toksai sulyginimas aneroido su gyvojo sidabro barometru neišvengiamas ypač todel, kad aneroido parodymai smarkiai priklauso nuo temperatūros ir, be to, elastingų dalelių įtempimas ilgainiui žymiai keičiasi, ypač žymiai nupuolus atmosferos spaudimui, taip kad tokie aneroidai ilgesnį laiką išbuvę,—esant, palyginti, žemam spaudimui,—pavyzdžiui, ant augšto kalno, reikalingi patikrinimo ir net pataisymo, nes kitaip jie klaidingai rodo. Temperatūros gi įtaka galima kompensuoti tokiu pat būdu, kaip švytuoklei, apie ką bus kalba šilimos skyriuje.

Visas čia aprašytas aneroido mechanizmas randasi ant apskritos lentelės ir uždengiamas stiklu. Aneroidas galima vartoti gulsčioje ir statinėje padėtyje. Tai yra labai patogus barometras, nes jam galima suteikti įvairų didumą ir net turėti aneroidą tokio pat didumo kaip kišeninis laikrodis. Kadangi augštesni oro sluogsniai yra retesni ir jų tankumas taisyklingai kinta, kintant augščiui, tai barometras, ypač aneroido pavidalo, duoda galimumo apskaityti augštį, kuriame esame. Užfiksavę spaudimą žemai ir atskaitę spaudimą augštyje, pagalba vadinamosios hipsometrinės lygties, kurios išvada bus duota vėliau, galime apskaityti dviejų augščių skirtumą. Taip inžinieriai, projektuodami naują gelžkelį, barometro pagalba, «daro apylinkės nivelaciją». Taip pat ir lakūnai aeroplanuose turi aneroidą, kur greta cifrų, rodančių spaudimą, randasi cifros, rodančios augštį.

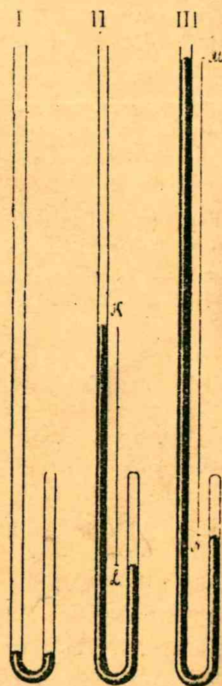
Pagaliau visiems žinomas barometro vartojimas paprastam gyvenime kaipo oro atmainų spėjiko. Tarp kita ko, tai, ar giedras ar apniukęs oras, pareina nuo kiekio vandens garų atmosferoje. Kada pučia šiaurys-vakaris, vakaris arba net ir pietvakaris vėjai, tai jie atneša pas mus (į kontinentą) daug vandens garų, nes jie pučia nuo okeano, jūros. Vandens garai žymiai lengvesni už orą, ir todel, sumišus jiems su oru, oro tankumas mažėja ir, vadinas, mažėja atmosferos spaudimas. Barometras ima žymiai kristi ir galima laukti lietaus arba sniego. Kada jis labai grei-

tai krinta, galime laukti audros. Kada gi pučia pietų arba pietų rytų, arba žiemos rytų vėjai, tai tie vėjai atneša sausą orą, nes jie ateina nuo Europos ir Azijos sausų tyrumų. Taigi oras darosi sausesnis ir sunkesnis, atmosferos spaudimas didėja ir barometras kįla augštyn, vadinas, rodo giedrą ir dažnai kaitrą vasaros metu ir šaltį žiemos metu. Ir aneroidai ir net gyvojo sidabro barometrai turi ant skalų pažymėjimus: «audra», «lietus», «mainus», «giedra» ir t. t. Dažnai sakoma, kad barometras meluoja ir kaltinama jį už blogą pranašavimą, bet visiškai be reikalo, nes barometro uždavinys parodyti atmosferos spaudimas, ir čia jis niekuomet nemeluoja, jeigu tik jo mechanizmas yra tvarkoj. Kai del gero ar blogo oro, tai reikia atsiminti, kad tie dalykai priklauso ne tik nuo oro spaudimo (kitaip sakant, nuo didesnio arba mažesnio kiekio garų ore), bet ir nuo daugelio kitų veiksnių, pavyzdžiui, nuo didesnio arba mažesnio kiekio dulkių ore, nuo elektros stovio, nuo saulės dėmių ir dar nuo kažko. Taigi oro atmainų įspėjimai, taip svarbūs ūkininkui žemdirbiui, yra dalykas labai painus, ir tas uždavinys iki šių dienų dar neišspręstas.

15 §. Boyle-Mariotto dėsnis.

Dujos, arba gniužūs skysčiai, kaip jau minėta, skiriasi nuo negniužių skysčių, arba paprastai skysčių, tuo, kad jie neturi savo tūrio ir duotas dujų kiekis gali užimti kaip labai didelį, taip ir labai mažą tūrį. Vadinasi, dujų tūris pareina ne nuo veikiančių tarp jų dalelių jėgų, bet nuo išorinių aplinkybių ir pirmiausia nuo išorinio spaudimo. Taigi, kalbant apie dujų tūrio elastingumą, dar Hook'as manė, kad dujų spaudimas, kuris visuomet yra lygus išoriniam spaudimui, yra tikras dujų elastingumo mastas. Paimsime V_0 kūb. cm. kokių nors dujų esant P_0 dinų spaudimui (šitas spaudimas, žinoma, galima išreikšti ir atmosferomis) 0^0 temperatūra. Nemažindami temperatūros, padidinsime išorinį spaudimą iki P. Tad tūris sumažės iki V, ir dujų spaudimas į indo šonus bus irgi P. Tūrio elastingumo moduliu mes vadiname santykį tarp spaudimo padidėjimo ir kiekvieno tūrio vieneto sumažėjimo, arba susitraukimo, taigi tas modulis čia bus $\frac{P - P_0}{\frac{V_0 - V}{V_0}} = \frac{(P - P_0)\, V_0}{V_0 - V}$. Kadangi dujoms tas elastingumo modulis visuomet yra lygus esamam spaudimui P, tad $\frac{(P - P_0)\, V_0}{V_0 - V} = P$. Iš čia išeina $(P - P_0)\, V_0 = P\,(V_0 - V)$ arba $P_0V_0 = PV$. Žodžiais: nesimainant aplinkos ir dujų temperatūrai ir mažinant arba didinant spaudimą plačiose ribose, dujų tūris mainosi visuomet taip, kad sandauga iš tūrio ir spaudimo, nuo kurių pradėta yra, lygi sandaugai iš naujo tūrio ir spaudimo arba, kitaip sakant, sandauga iš tūrio ir spaudimo dujoms, nesimainant temperatūrai, yra pastovus dydis: $P_0\, V_0 = PV = P_1\, V_1 \ldots = \text{Const.}$ (tai reiškia, kad dujų tūris visuomet yra atvirkščiai proporcingas spaudimui, nesimainant temperatūrai). Šita konsekvencija iš to fakto, kad dujų elastingumo modulis yra lygus jų spaudimui, žinomas fizikoje kaipo Boyle-Mariotto dėsnis. Dalykas tas, kad tas dėsnis buvo atrastas eksperimento keliu XVII šimtmečio pabaigoje dviejų mokslininkų: Škoto Roberto Boyle Anglijoje ir Abbato Mariotto Prancūzijoje. Šitam dėsniui patikrinti galima pasinaudoti prietaisais, kuriais Boyle ir Mariottas nustatė tą dėsnį. Paimsime sulenktą pavidalu U stiklo vamzdį, bet taip, kad viena jo šaka būtų žymiai ilgesnė (pavyzdžiui, būtų lygi 2 mtr. arba daugiau) kaip kita šaka (žiūr. 62 pieš.). Trumpesnės šakos galas turi būti užlydytas, galas gi ilgesnės šakos atdaras. Įpilsime dabar į šitą vamzdį gyvojo sidabro. Tad mes uždarysime trumpesnėje šakoje tam tikrą oro tūrį (62 I pieš.). Kad uždaryto oro spaudimas būtų lygus išoriniam atmosferos spaudimui, reikia, kad gyvasai sidabras abiejose šakose stovėtų tokiam pat augštyje. Jeigu to nėra, tai kreipiant vamzdį galima visuomet iš uždarytos šakos išvaryti vieną kitą burbuliuką oro ir tuo būdu pasiekti uždaroje šakoje tokį pat spaudimą, kaip išorinis. Taigi

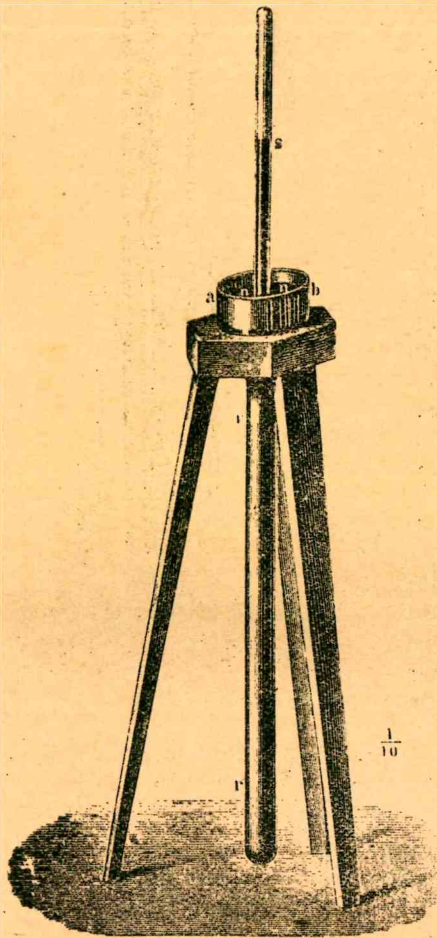
mes turėsime tada, sakysime, oro tūrį V kūb. cm.ea nt atmosferos spaudimui ir kambario temperatūrai. Tegu barometras rodo 76 cm. Dabar mes per piltuvėlį imsime pilti į atdarą vamzdžio šaką gyvąjį sidabrą. Gyvasai sidabras kils augštyn ir ilgoje ir trumpoje šakose (62 II pieš.), spausdamas orą uždaroje šakoje taip, kad jo tūris ten mažės. Mes pilsime gyvąjį sidabrą pakol oro tūris uždarytoje šakoje pasidarys dusyk mažesnis, kaip buvo iš pradžios. Tada gyvasai sidabras atdaroje šakoje stovės žymiai augščiau negu uždarytoje šakoje. Vadinasi, oro spaudimas uždaroje šakoje žymiai padidės. Pravedus per gyvojo sidabro meniską uždaroje šakoje lygumos liniją, gyvojo sidabro stulpai vienoje ir kitoje šakoje žemiau tos lygumos linijos nusveria vienas kitą, nes jie yra vienodo augščio. Taigi gyvojo sidabro stulpas atdaroje šakoje, skaitant nuo tos lygumos linijos augštyn iki meniskų K (stulpas KL), prisideda prie išorinio atmosferos spaudimo kompensuoti oro spaudimui uždaroje šakoje. Taigi išmatavę skalos pagalba, kuri gali būti sujungta su mūsų vamzdžiu, arba katetometro pagalba stulpo augštį KL, mes surasime, kiek padidės oro spaudimas uždaroje šakoje, sumažinus dusyk jo tūrį.. Mūsų atveju stulpo KL ilgis bus lygus 76 cm. Vadinasi, sumažinus tūrį dusyk, oro spaudimas padidės 1 atmosfera, o kadangi iš pradžios tas spaudimas buvo lygus 1 atmosferai, tai oro spaudimas sumažintame dusyk tūryje bus lygus 2 atmosferoms arba 152 cm. gyvojo sidabro stulpo. Pildami į atdarą vamzdžio šaką dar daugiau gyvojo sidabro, mes dar daugiau sumažinsime oro tūrį (dar labiau suspausime orą) uždaroje šakoje. Pilsime gyvąjį sidabrą pakol oras uždaroje šakoje bus suspaustas tiek, kad jo tūris pasidarys 3 sykius mažesnis, kaip buvo iš pradžios (62 III pieš.). Išmatavę gyvojo sidabro stulpo NM ilgį atdaroje vamzdžio šakoje, mes konstatuosime, kad jis yra lygus 152 cm. Vadinasi, spaudimas oro uždaroje šakoje, sumažinus jo tūrį 3 syk, bus dabar lygus 3 atmosferoms (gyvojo sidabro 152 cm. stulpas yra lygus 2 atmosferom ir dar spaudimas 1 atmosf., kaip buvo iš pradžios). Tuo būdu mes konstatuosime, kad spaudimas visuomet didėja tiek sykių, kiek sykių mažėja tūris.



Pieš. 62

Norint patikrinti Boyle - Mariotto dėsnį ir tokiais atvejais, kada dujų tūris didėja, o spaudimas mažėja, reikia pasinaudoti prietaisu (žiūr. 63 pieš., kurį sudaro ilgas ir platus stiklinis (iš storo stiklo) arba geležinis vamzdis, kuris gali būti įdėtas į tam tikrą geležinį trikojį, ir barometrinis vamzdis, padalintas į kūbinius milimetrus ir su bėgtuvu viršuj. Pripilsime platų stiklinį arba geležinį vamzdį gyvojo sidabro ir, atidarę barometrinio vamzdžio bėgtuvą, merksime jį į gyvąjį sidabrą plačiame inde pakol vienas kitas gyvojo sidabro lašelis išeis per bėgtuvo skylę į viršutinę susiaurintą barometrinio vamzdžio dalį. Tad, uždarę bėgtuvą, trauksime barometrinį vamzdį pamaži augštyn, pakol gyvojo sidabro meniskas pasirodys žemiau bėgtuvo. Viršum šito menisko bus tada Torricelli'o tuštuma, ir mes turėsime paprastą puodelio, arba dubenėlio, barometrą, kurio pagalba nustatysime atmosferos spaudimą. Tegu gyvojo sidabro stulpas barometriniame vamzdyje stovės augščiau gyvojo sidabro paviršiaus plačiajam vamzdy 76 cm. Vadinasi, mes turėsime normalinį atmosferos spaudimą. Atidarysime dabar bėgtuvą. Gyvasai sidabras tuojau nusmuks žemyn ir jo meniskas barometriniam vamzdy bus tokio pat lygio, kaip ir gyvojo sidabro paviršius išoriniame inde (jeigu tik barometrinis vamzdis nepersiauras). Vadinas, oro spaudimas barometre, esant bėgtuvui atdaram, bus lygus atmosferos spaudimui (spaudimui oro į gyvojo sidabro paviršių išoriniame inde). Šita padėtis nekis, jeigu mes, atsukę bėgtuvą, trauksime barometrinį vamzdį augštyn iš gyvojo sidabro arba nersime gilyn į gyvąjį sidabrą. Įvarysime barometrinį vamzdį į gyvąjį sidabrą tiek, kad jame pasiliktų, sakysime, 5 kūb. cm. oro. Užsuksime dabar bėgtuvą. Tuo būdu mes turė-

sime uždarytą oro tūrį 5 kūb. cm. esant atmosferos spaudimui. Trauksime dabar barometrinį vamzdį iš gyvojo sidabro augštyn. Mes konstatuosime, kad uždaryto oro tūris didėja ir tuo pačiu laiku kįla augštyn gyvasai sidabras barometriniame vamzdyje. Vadinasi, uždaryto oro spaudimas mažėja, didėjant jo tūriui. Ištraukę barometrinį vamzdį augštyn tiek, kad oro tūris jame pasidarytų lygus 10 kūb. cm., mes konstatuosime, kad gyvojo sidabro stulpas barometriniame vamzdyje stovi 38 cm. augščiau gyvojo sidabro paviršiaus išoriniame inde. Vadinasi, atmosferos spaudimas kompensuojamas dabar uždaryto barometriniame vamzdyje oro spaudimo plus gyvojo sidabro 38 cm. stulpo spaudimas. Taigi uždaryto oro spaudimas šiuo atveju yra lygus atmosferos spaudimui, vadinasi, 76 cm. minus 38 cm. = 38 cm. Vadinas, padidėjus oro tūriui du sykiu jo spaudimas sumažės irgi du sykiu.

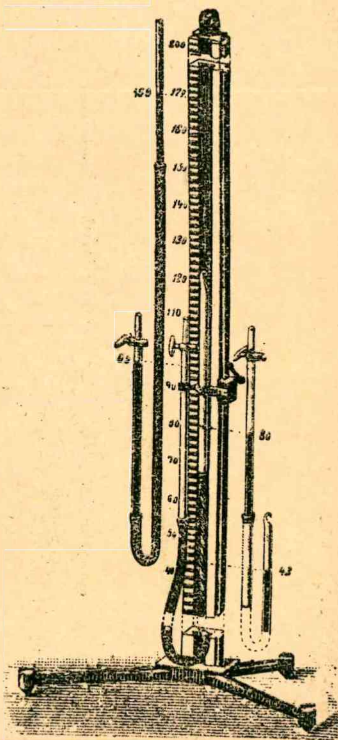


Pieš. 63

Traukdami barometrinį vamzdį toliau augštyn, pakol uždaryto oro tūris padidės iki 15 kūb. cm., mes konstatuosime, kad dabar gyvojo sidabro stulpas barometriniame vamzdyje stovės 50,67 cm. augščiau gyvojo sidabro paviršiaus išoriniame inde. Vadinasi, uždaryto oro spaudimas dabar bus lygus atmosferos spaudimui, t. y., 76 cm. — 50,67 = 25,33 cm. Taigi padidėjus oro tūriui 3 syk, jo spaudimas sumažės irgi 3 syk ir t. t.

Trumpai aprašysime čia dar Weinholdo aparatą (64 piešinys), kuris dažnai vartojamas demonstruoti ir patikrinti Boyle-Mariotto dėsniui. Jis susideda iš augštos sijos (nuo 2 iki 3 metrų augščio) su skala, su kuria sujungti du stikliniai vamzdžiai: vienas, kairysis, su bėgtuvu tvirtai, o kitas, dešinysis, su atdaru viršutiniu galu judomai. Apatiniai vamzdžio galai sujungti storu ir ilgu kaučiuko vamzdžiu taip, kad susidaro paprastas susisiekiamas indas. Išilgai augštos statinės lentos išpjautas latakas, kuriame lengvai šliaužioja medinis trikampis stulpelis. Prie to stulpelio yra priklijuotas kietai dešinysis stiklo vamzdis. Prie viršutinio stulpelio galo pritrauktas grandinėlis, prie kurio pririštas stipras šniūras, permestas per skridinį, kuris randasi viršuj augštos statinės lentos. Traukdami už šniūro galo žemyn, mes kelsime augštyn dešinįjį vamzdį. Leidžiant šniūrą (bet neišleidžiant šniūro galo iš rankų), dešinysis vamzdis slinks žemyn. Statinė skalos lenta tvirtai sujungta su geležiniu trikoju, kuris dažnai remiasi bent 2 sraigtais taip, kad galima būtų, reikalui esant, pasiekti pilnai skalos lentos statinė padėtis. Atidarius kairiojo vamzdžio bėgtuvą ir užmovus ant vamzdžio galo kaučiuko vamzdžio pagalba piltuvėlį, pirmiausia reikia pripilti susisiekimo indas gyvojo sidabro (piešiny parodytas ne visas kaučiuko vamzdžio ilgis, trūkstamoji jo dalis žymiai ilgesnė negu parodyta piešiny). Gyvojo sidabro pilama tiek, kad stovint tame pat augštyje abiejuose vamzdžiuose, jo meniskas kairiajam vampzy stovėtų žemiau bėgtuvo bent 20 cm. Pirmiausia šituo aparatu galima pasinaudoti, kaip sifoniniu barometru, atmosferos spaudimui surasti. Tam tikslui, atidarius bėgtuvą, reikia kelti augštyn dešinįjį vamzdį, tempiant už šniūro galo žemyn (darant eksperimentus niekuomet neišleisti šniūro galo iš rankų), pakol gyvojo sidabro stulpas pakils kairiajam vamzdy iki bėgtuvo ir net pakol pasirodys truputį augščiau

bėgtuvo viršutinėje vamzdžio dalyje. Uždarius bėgtuvą ir atleidžiant šniūrą, dešinysis vamzdis varomas žemyn, pakol po bėgtuvu kairiajam vamzdy pasirodys Torricelli'o tuštuma. Tad gyvasai sidabras stovės kairiajam vamzdy augščiau negu dešiniajam, ir mes turėsime paprastą sifoninį barometrą. Atskaitytas ant skalos gyvojo sidabro meniskų augščių skirtumas abiejuose vamzdžiuose ir duos mums atmosferos spaudimą, sakysime, 76 cm. Pakėlę truputį augštyn dešinįjį vamzdį, atidarysime bėgtuvą. Spaudimai susilygins, ir gyvasai sidabras užims tą patį augštį abiejuose vamzdžiuose. Laikydami bėgtuvą atdarą kelsime dešinįjį vamzdį augštyn arba leisime jį žemyn, pakol gyvojo sidabro stulpas kairiajam vamzdy pakils tiek, kad tarp jo menisko ir bėgtuvo būtų, sakysime, 10 kūb. cm. oro. Kadangi gyvasai sidabras ir vienoje ir kitoje šakoje pakilęs vienodo augščio, tai jo spaudimas bus 76 cm. Uždarius bėgtuvą niekas neapkis. Tempdami už šniūro galo kelsime dabar dešinįjį vamzdį augštyn. Mes tuo būdu kelsime augštyn gyvojo sidabro stulpą dešiniajam vamzdy ir, einant susisiekiamųjų indų pagrindiniu dėsniu, gyvojo sidabro stulpas kils augštyn ir kairiajam vamzdy, vadinasi, spaus, kaip stumiklis, uždarytą tame inde orą. Mes kelsime dešinįjį vamzdį augštyn tol, kol oro tūris kairiajame vamzdyje sumažės iki 5 kūbinių centimetrų.



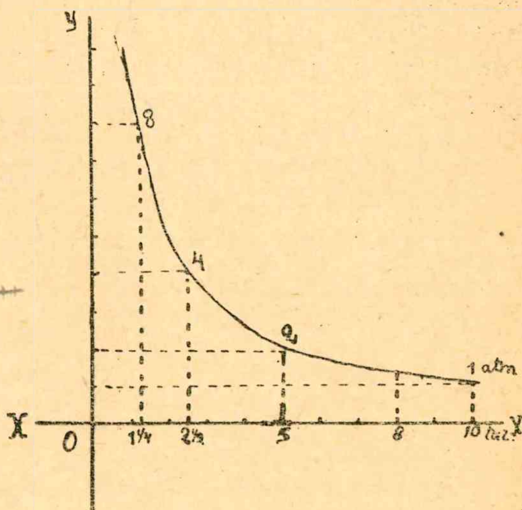
Pieš. 64

Pasiekus tokį stovį, gyvojo sidabro stulpas dešiniajame atvirame vamzdy stovės žymiai augščiau negu kairiajam vamzdy (šitas stovis atvaizduotas kairėj 64 piešinio pusėj). Taigi oras bus suspaustas atmosferos plus gyvojo sidabro stulpo spaudimas, skaitant nuo menisko uždaroje šakoje iki meniskų atdaroje šakoje. Skala rodo, kad to stulpo augštis bus lygus $169 - 95 = 74$ cm. Taigi suspaudus orą iki 5 kūb. cm., jo spaudimas bus $76 + 74 = 150$ cm., vadinasi, 1,97 arba apskritai 2 syk didesnis, kaip 10 $cm.^3$ tūrio spaudimas.

Leisdami šniūro galą, varysime dabar žemyn dešinįjį vamzdį, žemindami tuo būdu gyvojo sidabro stulpą tame vamzdyje. Einant susisiekiamųjų indų dėsniu, slinks žemyn ir gyvasai sidabras kairiajam vamzdy. Vadinasi, mes didinsime uždaryto oro tūrį ir darysime taip, pakol gyvojo sidabro meniskas kairiajam vamzdy sustos ties cifra 80. Mes dabar turime 20 cm. oro, o gyvojo sidabro stulpas dešiniajam vamzdy stovės žymiai žemiau negu kairiajam vamzdy (šita padėtis atvaizduota dešinėj 164 piešinio pusėj). Taigi oro spaudimas, esant 20 kūb. cm. tūriui, bus lygus atmosferos spaudimui minus gyvojo sidabro stulpas, skaitant nuo menisko uždaroje šakoje iki meniskų atdaroje šakoje. Skala rodo, kad to stulpo augštis bus $80 - 43 = 37$. Taigi oro spaudimas esant 20 kūb. cm. tūrio bus lygus 39 cm. (76 — 37), vadinasi, bus gangreit dusyk mažesnis, palyginus su pradžios spaudimu esant tūriui 10 kūb. cm.

Tyrinėjimai Regnault'o (1847 metais), Amagat'o ir kitų parodė, kad dauguma realinių dujų apsilenkia su Boyle-Mariotto dėsnio reikalavimais ta prasmė, kad, ypač esant didesniems spaudimams, jų gniužumas yra didesnis, kaip teorijos reikalaujamas, išėmus vandenilį, kuris susispaudžia mažiau, kaip to reikalauja Boyle-Mariotto dėsnis. Bet esant labai dideliems spaudimams ir kitų dujų gniužumas vėl ima mažėti. Prie šito klausimo mes grįšime vėliau ir pasipažinsime tada su lygtimi, kuri tiksliau išreiškia santykius tarp dujų tūrio ir spaudimo nekintant temperatūrai. Čia tik pažymėsime, kad grynai empirinis Boyle-Mariotto dėsnis visgi atvaizduoja svarbiausią dujinio stovio savybę ir todel turi didelės reikšmės fizikoje.

Kad geriau suprastumėm šitą dėsnį, duosime čia dar grafišką jo vaizdą (žiūr. 65 pieš.). Išvesime koordinatų ašis XY ir atidėsime ant abscisos X tūrius, o ant ordinatos Y atatinkamus tūriams spaudimus, pradedant pradžioj 10 litrų tūriu (arba kūb. centimetrų) ir 1 atmosferos oro spaudimu. Ištiesę abscisės taškuose 10, 5, $2\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{4}$ ir t. t. statmenis (perpendikularus) iš eilės lygius 1, 2, 4, 8, ir t. t. ir sujungę tų statmenų galus linijomis, mes gausime hiperbolos dalį, kuri ir išreiškia Boyle-Mariotto dėsnį idealinėms dujoms. Čia mes turime vadinamąją lygiašonę hiperbolą, kurios lygtis bus $XY = \text{const.}$, jeigu mes tą lygtį sustatysime paėmę hiperbolos asimptotas (linijos, kurios sudaro kampus 45^o su tiesiakampėmis koordinatomis) už koordinatas, vadinasi, žiūrint į nubrežtas piešiny linijas XY kaipo į asimptotas. Kadangi Y reiškia spaudimą, o X turį, tai mes ir turime $PV = \text{const.}$



Pieš. 65

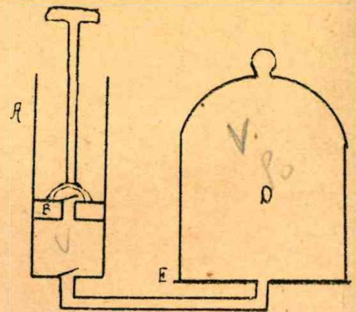
Pirmiausia pasinaudosime Boyle-Mariotto dėsniu surasti, kaip kinta oro spaudimas su augščiu. Tegu žemai, sakysime, jūros lygyje, barometras rodys b. mm. gyvojo sidabro stulpo. Pakilę su tuo barometru vienu metru augščiau, gyvojo sidabro stulpas truputį nukris todel, kad oro tankumas augščiau mažesnis, kaip žemai ir, vadinasi, jo spaudimas mažesnis. Norint surasti, kiek nukris barometras pakilus 1 mtr., reikia apskaityti, kokio augščio gyvojo sidabro stulpas atsveria oro stulpą 1 metro augščio, išeinant iš susisiekiamųjų indų dėsnio įvairiems skysčiams (gyvsidabris, oras). Kadangi spaudimas yra jėga, veikianti ploto vienetą, tai spaudimui apskaityti mes galime paimti betkokį plotą, sakysime, 1 kvadratinio milimetro plotą. Tada mes turėsime oro stulpą, kurio tūris bus 1000 kūb. mm. Esant temperatūrai 0 ir normaliniam spaudimui (760 mm.) oras yra 773 sykius lengvesnis už vandenį. Vadinasi, tas oro stulpas svers $\frac{1000}{773}$ miligramų. Einant Boyle-Mariotto dėsniu, dujų tūris atvirkščiai proporcingas jų spaudimui, vadinas, dujų tankumas tiesioginai proporcingas jų spaudimui. Tad mūsų oro stulpo svoris barometrui rodant b mm. bus $\frac{1000\ b}{760.773}$ miligramų. Vadinasi, gyvojo sidabro stulpas, kuris atsvers šitą oro stulpą turi sverti irgi $\frac{1000\ b}{760.\ 773}$ miligramų. Kadangi gyvojo sidabro lyginamasai svoris, kai esti nulio temperatūra, yra lygus 13,6, tai šito gyvojo sidabro stulpo tūris bus $\frac{1000\ b}{773.760.\ 13,6}$. Vadinasi, to stulpo augštis esant 1 kvadr. mm. skerskrodžio plotui bus $\frac{1000\ b}{773.\ 760.\ 13,\ 6}$ milim. Taigi pakilus vienu metru augščiau jūros lygio, barometras nupuls žemyn tieku milimetrų. Pažymėsime naują barometro parodymą raide b_1. Tad mes turėsime $b_1 = b - \frac{1000\ b}{773.\ 760.\ 13,6} = b\ (1 - \frac{1000}{773.\ 760.\ 13,6})$. Dydis skliaustuose labai mažai skiriasi nuo vieneto ir yra pastovus dydis. Pažymėsime jį raide k. Tad santykis tarp b_1 ir b gali būti išreikštas lygtimi $b_1 = kb$. Pakilus dar 1 metru augščiau, mes turėsime $b_2 = kb_1$ arba k^2b; pakilus 3 metr. augščiau, turėsime $b_3 = kb_2 = k^2b_1 = k^3b$. Pakilus gi nuo žemės arba nuo jūros lygio h metrais augštyn, mes turėsime $b_h = k^hb$. Šita lygtis duoda galimumo iš dviejų barometro

atskaitymų, žemai b ir augštai b_h, apskaityti pakilimą h. Logaritmuodami šitą lygtį, mes turėsime $\lg b_h = h \lg k + \lg b$. Iš čia $h = -\frac{1}{\lg k}(\lg b - \lg b_h)$. Tai ir bus vadinamoji hipsometrinė lygtis, tik be temperatūros ir oro drėgnumo pataisų (apie tas pataisas kalba bus šilimos skyriuje), kuriomis naudojasi inžinieriai ir mokslininkai, darydami nivelacijas. Apskaitę dydį $-\frac{1}{\lg k}$, gausime 18.400. Taigi pagaliau mūsų lygtis įgaus pavidalą $h = 18.400 (\lg b - \lg b_h)$ metrų.

16 §. Oro siurbliai.

Pasipažinę su Boyle-Mariotto dėsniu, mes dabar lengvai suprasime oro siurblių principą. Oro pašalinimas, arba evakuavimas, iš indo remiasi tuo faktu, kad sujungus tų indų, kuriuose randasi nevienodo spaudimo oras, tie spaudimai difuzijos keliu išsilygina: oras arba aplamai dujos iš indo, kur didesnis spaudimas, skverbiasi į indą, kur mažesnis spaudimas, arba aplamai dujos didesnio tankumo skverbiasi į dujas mažesnio tankumo, nelyginant kaip ištirpinto cukraus molekulos iš augštesnės koncentracijos sluogsnio skverbiasi į žemesnės koncentracijos sluogsnį. Taigi mes čia turime žinomą jau mums difuzijos procesą, kuris seka tuos pačius dėsnius ir gali būti išreikštas tokia pat lygtimi, kaip skystimų difuzija.

Oro siurblys, arba retinimo paprasčiausios formos siurblys, sudarytas iš cilinderio A su stumikliu B (žiūr. 66 pieš.), kuris už rankenos gali būti paeiliui keliamas augštyn ir stumiamas žemyn. Cilinderio A dugnas sujungtas kanalu C su lėkšte E, kurios paviršių sudaro gerai nušlifuotas stiklas ir ant kurios galima uždėti gaubtuvą D, kad jį germetiškai prispaustų prie lėkštės. Jo krantai irgi gerai nušlifuoti ir paprastai ištepami dar taukais arba vazelinu. Svarbų vaidmenį siurbliuose vaidina vožtuvai (dangčiai), dažniausiai plokštelės iš elastingos medžiagos (iš metalo). Čia mes turime du vožtuvu: vieną toj vietoj, kur cilinderis A pereina į kanalą C, o kitą viršum siauro kanalo, kuris eina per stumiklį B. Abudu dangčiai pritaikyti čia taip, kad jie atsidaro į tą pačią pusę, būtent, augštyn. Varydami stumiklį B žemyn, mes spausime orą po juo ir didinsime, einant Boyle-Mariotto dėsniu, jo spaudimą. Pradedant veikti, oro spaudimas po gaubtuvu yra lygus atmosferos spaudimui. Taip pat mes turime atmosferos spaudimą augščiau stumiklio B. Varant stumiklį žemyn, oro spaudimas po juo greitai darosi didesnis kaip atmosferos spaudimas ir kaipo padarinys, stumiklio dangtis atsidaro, o cilinderio dangtis uždaro kanalą. Vadinasi, varant stumiklį žemyn, oras po juo neturi kitur išeiti, kaip tik per stumiklio kanalą laukan. Nuvarę stumiklį iki pat cilinderio dugno, trauksime dabar jį augštyn. Po stumikliu bus dabar tik oro likučiai. Vadinasi, jo spaudimas bus žymiai mažesnis kaip atmosferos spaudimas, ir todel stumiklio dangtis bus prispaustas atmosferos spaudimu ir uždarys stumiklio kanalą, o kanalo C dangtis, oro iš gaubtuvo D spaudžiamas, atsidarys. Taigi keliant stumiklį augštyn, dalis oro iš gaubtuvo D difuzijos keliu (procesas bus čia gana greitas del didelio spaudimų skirtumo) pereis į cilinderį A. Varydami vėl stumiklį žemyn, mes suspausime šitą oro dalį, uždarysime kanalo C dangtį, atidarysime stumiklio dangtį B ir tuo būdu išvarysime ir šitą dalį oro laukan. Po keleto arba keliolikos tokių stumiklių B svyravimų mes pašalinsime, arba evakuosime, iš gaubtuvo D žymią oro dalį, taip kad pasilikęs ten oras turės mažą spaudimą ir, vadinasi, mažą tankumą, vienu žodžiu, oras bus išretintas. Bet tuo būdu niekuomet negalima pašalinti viso oro iš recipiento (recipientu vadinamas indas, iš kurio oras evakuojamas, mūsų atveju tai bus gaubtuvas D). Pažymėsime gaubtuvo tūrį raide V, o cilinderio tūrį, skaitant nuo



Pieš. 66

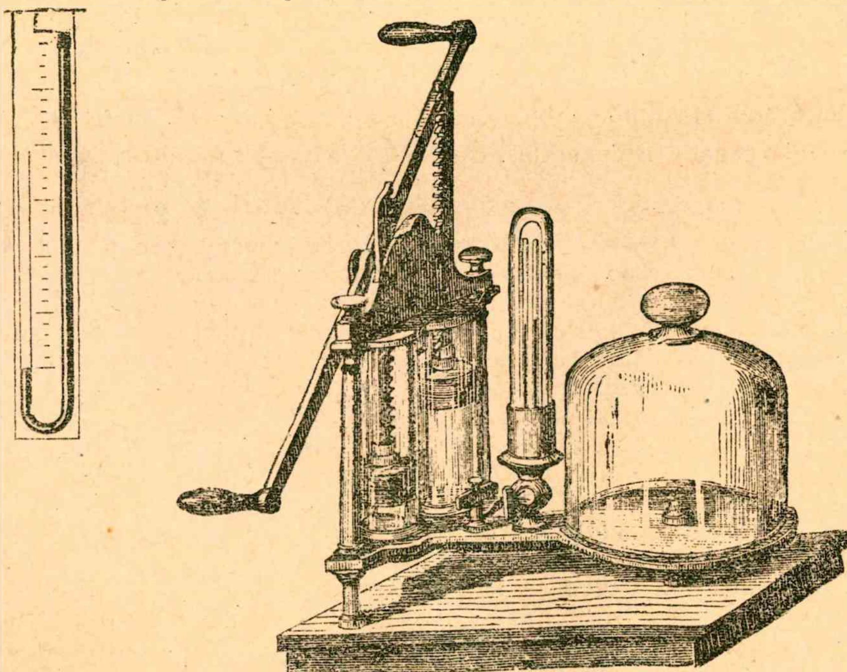
dugno iki apatinio stumiklio paviršiaus augščiausioj jo padėty, raide v ir tegu mes dirbame, kai esti atmosferos spaudimas P_0. Nustumsime pirmą sykį stumiklį B iki cilinderio dugno. Mes turėsime V kūb. cm. ar litrų oro po gaubtuvu D, būnant P_0 spaudimui. Pakelsime dabar stumiklį kuo augščiau. Dalis oro iš gaubtuvo D išeis į cilinderį, ir oras, buvęs po gaubtuvu, užims tūrį V+v. Einant Boyle-Mariotto dėsniu, jo spaudimas bus mažesnis kaip P_0, sakysime P_1, tad, einant Boyle-Mariotto dėsniu, bus $(V+v)\,P_1 = VP_0$. Iš čia $P_1 = \frac{VP_0}{V+v}$. Taigi pakėlę pirmą kartą stumiklį augštyn, mes turėsime po gaubtuvu mažesnį oro spaudimą, kaip buvo iš pradžios, nes $\frac{V}{V+v}$ yra trupmena mažesnė už vienetą.

Nustumsime dabar vėl stumiklį žemyn ir paskum vėl pakelsime augštyn. Nustūmę žemyn, mes turėsime po gaubtuvu tą patį oro tūrį V, bet P_1 spaudimu. Pakėlus stumiklį augštyn antrą sykį, oro tūris padidės vėl iki V+v. Vadinasi, jo spaudimas sumažės. Tegu tas spaudimas bus P_2. Eidami Boyle-Mariotto dėsniu, mes turėsime $(V+v)\,P_2 = VP_1$. Iš čia $P_2 = \frac{V}{V+v}\,P_1 = \left(\frac{V}{V+v}\right)^2 P_0$. Atkartoję stumiklio svyravimą trečią sykį, mes pasieksime po gaubtuvu dar mažesnį spaudimą $P_3 = \left(\frac{V}{(V+v)}\right)^3 P_0$, po n svyravimų oro likučių po gaubtuvu spaudimas bus $P_n = \left(\frac{V}{V+v}\right)^n P_0$. Šita lygtis sako, kad augščiau aprašyto siurblio pagalba negalima išvaryti viso oro iš recipiento. Tegu recipiento tūris bus 1 litras, o siurblio cilinderio, arba aulo, tūris $^1/_2$ litro. Tad santykis $\frac{V}{V+v} = \frac{2}{3}$. Atkartojus stumiklio svyravimą 10 sykių, oro likučių spaudimas recipiente $P_{10} = \left(\frac{2}{3}\right)^{10} \cdot P_0$. Jeigu pradžios spaudimas P_0 lygus 1 atmosferai, tad oro likučių spaudimas bus $\left(\frac{2}{3}\right)^{10} = \frac{1024}{59049} = 0{,}017$ atmosferos spaudimo, arba, kitaip sakant, tokia dalis viso buvusio recipiente oro dar pasiliks tenai. Dalykas tas, kad $\left(\frac{2}{3}\right)^n$ sudaro be galo mažėjančios geometrijos progresijos eilę, ir jei n pasidarys labai didelis, tai $\left(\frac{2}{3}\right)^n$ bus labai mažas dydis, bet visgi didesnis už 0. Be to, reikia turėti omeny, kad būnant tobūliausiai siurblio konstrukcijai tarp apatinio stumiklio paviršiaus ir siurblio cilinderio dugno visuomet pasilieka šioks toks tarpas su oru, vadinamasis «žalingasis tarpas». Nesunku suvokti, kad evakuavimas oro iš recipiento į siurblio cilinderį, kitaip sakant, difuzija iš oro recipiento į siurblio cilinderį galima tik tol, kol oro spaudimas recipiente yra didesnis kaip žalingojo tarpo oro spaudimas. Tegu šitas žalingasis tarpas sudaro, sakysime, 0,001 viso siurblio cilinderio tūrio. Tad žalingojo tarpo oras, slenkant stumikliui augštyn, užima 1000 sykių didesnį tūrį, vadinasi, jo spaudimas bus lygus 0,001 atmosferos, jeigu iš pradžios tas spaudimas buvo lygus 1 atmosferai. Taigi difuzija oro iš recipiento sustos, kaip tik oro likučiai recipiente pasieks spaudimą, lygų 0,001 atmosferos.

Gavę progos, pažymėsime trumpai, kad aprašytas čia oro siurblys (66 pieš.) lengvai gali būti paverstas oro tvenkinamuoju siurbliu (kompresorium), kurio pagalba galima varyti oras į recipientą ir tokiu būdu didinti jo spaudimas. Reikia tik pakeisti dangčių padėtį, būtent, reikia padaryti taip, kad abu dangčiai, augant spaudimui, atsidarytų ne augštyn, bet žemyn (į vidų), pritaikinus stumiklio dangtį (vožtuvą) prie apatinio jo paviršiaus. Tada, varydami stumiklį žemyn, mes spausime orą kompresoriaus cilindery, ir tas spaudimas, pasidaręs didesnis už išorinį atmosferos spaudimą, prispaus stumiklio dangtį (vadinasi, uždarys jo kanalą) ir atlenks žemyn, į vidų, kanalo C dugno dangtį (vadinasi, atidarys šitą dangtį). Taigi tuo būdu oras, buvęs kompresoriaus cilindery, bus suvarytas į recipientą. Keliant dabar stumiklį aug-

štyn, oro likučių spaudimas cilindery bus mažesnis kaip išorinis atmosferos spaudimas, stumiklio dangtis atsidarys (į vidų), o kanalo C dangtis oro spaudimu iš D uždarys šitą kanalą ir atkirs recipiento susisiekimą su kompresoriaus cilinderiu. Vadinasi, keliant stumiklį, cilinderis prieis pilnas oro, ir, varant jį žemyn, tas oras vėl bus suvarytas į recipientą. Atkartojus keletą sykių stumiklio svyravimą, galima žymiai sutirštinti orą recipiente ir pakelti jo spaudimą. Tegu vėl recipiento tūris bus V, o kompresoriaus cilinderio (aulo) tūris bus v ir, pradedant dirbti, oro spaudimas recipiente ir aule bus P_0. Tad nuvarę pirmą sykį stumiklį žemyn, mes įvarysime į recipientą v kūbinių vienetų oro, vadinasi, sumažinsime pradinį oro tūrį $V+v$ iki V. Einant Boyle-Mariotto desniu, bus $(V+v)\,P_0 = VP_1$, jei padidėjęs oro spaudimas recipiente bus pažymėtas raide P_1. Iš čia $P_1 = \left(\frac{V+v}{V}\right) P_0$. Kadangi kiekvienas stumiklio svyravimas įvaro į recipientą v kūb. vienetų oro, tad aišku, kad atlikus stumikliui n svyravimų, pasiektas spaudimas recipiente $P_n = \left(\frac{V+nv}{V}\right) P_0$. Ir čia ribos, iki kurių galima tirštinti oras recipiente, pareina nuo recipento sienų stiprumo (perdidelis spaudimas gali sudraskyti recipientą) ir nuo žalingo tarpo didumo. Jei žalingojo tarpo talpumas sudaro 0,001 kompresoriaus cilinderio talpumo, tad varant stumiklį žemyn, oro spaudimas cilinderyje padidės 1000 sykių, ir tokiomis aplinkybėmis galima bus sutirštinti orą recepiente iki 1000 atmosferų spaudimo, jei tik tokį spaudimą ištūrės recipientas.

Grįšime dabar prie oro siurblio. Oro evakuavimui iš recipiento pagreitinti vartojamas dažniausiai dvicilindrinis, arba dviaulinis, siurblys (67 pieš.), kurį sudaro du cilinderiai, kaip atvaizduota 66 piešiny, sujungti taip, kad tuo pačių laiku, kada vienas cilinderis siurbia orą iš recipiento, iš kito cilinderio oras varomas laukan. Sujungimo būdas matyti iš 67 piešinio. Svirtis su dviem rankenom svyruoja ant



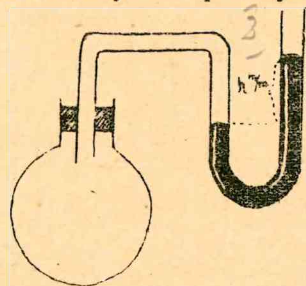
Pieš. 67

ašies, kuri eina per krumpliaračio vidurį. Krumpliaračio gi krumpliai užgriebia už dančių dviejų plokščių stiebų (kremaljerių), sujungtų su cilinderių stumikliais, taip kad veikiant svirtimi visuomet vienas stumiklis slenka žemyn, vadinasi, varo išsiurbtą iš recipiento orą laukan, o kitas stumiklis kįla augštyn ir siurbia orą iš recipiento. Žalin-

gojo tarpo įtakai sumažinti čia vartojamas Babinet bėgtuvas. Tas bėgtuvas turi keturis kanalus: du išilgai ir du skersai. Pradedant evakuoti orą, jis pasukamas taip, kad abudu cilinderiai pagalba dviejų skersinių kanalų ir vieno išilginio kanalo būtų sujungti su recipientu. Tada kiekvienas stumiklis iš eilės siurbia orą iš recipiento. Dirbama pakol oro spaudimas recipiente pasidarys lygus oro spaudimui žalingo tarpo, išsiplėtus tam orui visame cilinderio tūryje. Kada toksai stovis atsiektas, Babinet bėgtuvas pasukamas taip, kad antruoju išilginiu bėgtuvo kanalu būtų sujungtas su recipientu tik vienas cilinderis, o kitas būtų nuo jo visiškai atkirstas. Abudu gi cilinderiai būtų sujungti tarp savęs skersiniais kanalais. Būnant tokiai Babinet bėgtuvo padėčiai, orą iš recipiento siurbs tik vienas cilinderis ir paskum, slenkant jo stumikliui žemyn, varys tą orą į kitą cilinderį, taip kad tas oras bus išvarytas laukan slenkant žemyn antrojo cilinderio stumikliui. Tuo būdu galima dar šiek tiek daugiau evakuoti oras iš recipiento.

67 piešinys atvaizduoja dar manometrą, kuris kiekvienu momentu rodo, koks oro likučių spaudimas recipiente. Manometrais paprastai fizikoje vadinama aparatai, kurių pagalba galima išmatuoti taip maži, taip ir dideli oro ir aplamai dujų spaudimai. Atvaizduotas čia manometras susideda iš stiklinio vamzdžio, sulenkto pavidalu U, kurio vienas galas uždaras, o kitas atdaras. Vamzdžio šakų ilgis daugiausia nuo 20 iki 30 centimetrų. Vamzdis pripiltas gyvojo sidabro taip, kad būnant atmosferos spaudimui gyvasai sidabras užima visą uždarą šaką, o atdaroje šakoje stovi žymiai žemiau (tik truputį augščiau vamzdžio sulenkimo vietos). Šitas vamzdis sujungtas su skala, kurios vidurinis padalijimas (bruožas) pažymėtas nuliu, o nuo to nulio augštyn ir žemyn eina padalijimai milimetrais taip, kad tas pats skaičius, sakysime 90 ir 90 mm., randasi ties uždaro vamzdžio galu ir ties gyvojo sidabro menisku atdaroje vamzdžio šakoje. Skala su vamzdžiu įdėta į žemą metalinį cilinderį, kuris bėgtuvo pagalba gali būti sujungtas su kanalu, jungiančiu recipientą su cilinderiais (vadinasi, ir su recipientu), Ant skalos su vamzdžiu užmautas cilindrinis stiklo vožtuvas taip, kad jis germetiškai uždaro apatinį metalinį cilinderį. Pradėjus siurbti orą, gyvasai sidabras uždaroje šakoje ims pamaži slinkti žemyn nuo to momento, kada oro spaudimas recipiente pasidarys mažesnis, kaip gyvojo sidabro stulpo spaudimas tarp dviejų kraštutinių skalos padalijimų (mūsų atveju mažesnis, kaip gyvojo sidabro stulpo—180 mm.—spaudimas). Juo mažesnis darysis oro spaudimas recipiento, juo labiau kris žemyn gyvojo sidabro stulpas uždaroje manometro šakoje, ir kiekvienu momentu mes atskaitysime šitą spaudimą sudėję skalos cifras, ties kuriomis stovės gyvojo sidabro meniskai uždaroje ir atdaroje manometro šakose. Jeigu galima būtų išsiurbti visas oras iš recipiento, tad gyvojo sidabro stulpai stovėtų ties skalos nuliu, vadinasi, to pat augščio abiejose šakose.

Ištikus šiai progai, pasipažinsime čionai arčiau su manometrais, kurių pagalba, kaip jau paminėta, matuojami oro ir aplamai dujų spaudimai, taip didesni už atmosferą, taip ir mažesni. Paprasčiausį manometrą mažiems spaudimams matuoti atvaizduoja 68 piešinys. Tai yra ne kas kita, kaip U pavidalo sulenktas stiklo vamzdis (kuris galima sujungti su milimetrine skala), į kurį įpiltas gyvasai sidabras, vanduo arba net ir kiti skystimai. Norint išmatuoti, sakysime, vandens garų spaudimą kolboje, reikia sujungti manometras su kolbos talpa pagalba kaučiuko kamščio, pro kurio skylę iškištas atlenktas žemyn manometrinio vamzdžio galas. Skystimas (gyvasai sidabras arba net ir vanduo) stovės augščiau dešiniojoje manometro šakoje, kaip kairiojoje, nes prie išorinio atmosferos spaudimo kolboje prisidės dar sočių vandens garų spaudimas, kuris bus lygus gyvojo sidabro arba vandens stulpo spaudimui, skaitant nuo menisko kairiojoje šakoje (jeigu mes turėtume manometre 20 cm. vandens stulpą, tad gyvojo sidabro stulpas, kuris sveria tiek pat, kiek tasai vandens

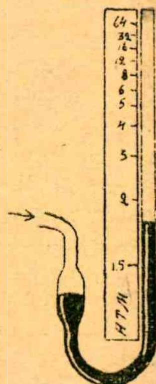


Pieš. 68

stulpas, būtų $\frac{20}{13,6}$ = 1,5 cm.). Jeigu kolboje bus ne vanduo, bet oras arba kitos kokios dujos išretintame stovyje, tad skystimas manometre stovės augščiau kairiojoje šakoje negu dešiniojoje.

Prie siurblio aprašytas manometras vartojamas ir kitais atvejais mažiems spaudimams nustatyti.

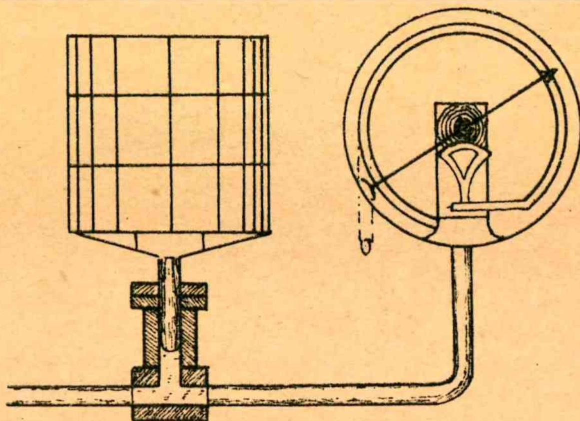
Kada spaudimai didesni už atmosferos spaudimą, reikia vartoti manometras, kurį atvaizduoja 69 piešinys. Jis susideda irgi iš U pavidalu sulenkto stiklinio vamzdžio, kurio viena šaka, siauresnė ir ilgesnė, turi uždarą galą, o kita šaka, trumpesnė, su atdaru galu ir išpūsta pavidalu cilinderio. Šitas vamzdis sujungtas su skala. Į jį pilamas gyvasai sidabras taip, kad gyvojo sidabro stulpas uždarytų tam tikrą oro kiekį ilgesnėj šakoj ir kad gyvasai sidabras iš pradžios būtų to paties augščio abiejose manometro šakose (vadinasi, kad uždaryto oro spaudimas būtų lygus išoriniam atmosferos spaudimui). Taigi ties gyvojo sidabro menisku ilgesnėj manometro šakoj skalos bruožas pažymėtas 1. Sujungus atdarą manometro šaką su kokiu nors indu arba šiaipjau rezervuaru, kur spaudimas bus didesnis, kaip atmosferos spaudimas, gyvasai sidabras ilgesnėj manometro šakoj pakils augštyn suspausdamas uždarytą toje pat šakoje orą. Taigi spaudimas inde arba rezervuare bus lygus uždaryto manometro vamzdyje oro spaudimui plus gyvojo sidabro stulpo spaudimas, skaitant tą stulpą nuo menisko vienoje šakoje iki menisko kitoje šakoje. Tegu, pavyzdžiui, oro tūris uždaroje manometro šakoje sumažės du sykiu. Skalos bruožą, kuris randasi dabar ties gyvojo sidabro menisku uždaroje manometro šakoje, mes pažymėsime skaitmenim 2, nes sumažėjimas oro tūrio iki $\frac{1}{2}$ pirmykščio reiškia dvigubą išorinį spaudimą. Taigi dujų spaudimą inde, arba rezervuare, reikia skaityti lygiu 2 atmosferom, plus gyvojo sidabro stulpo spaudimas, skaitant nuo gyvojo sidabro paviršiaus platesnėje ir trumpesnėje manometro šakoje ligi jo menisko ilgesnėje ir siauresnėje šakoje. Aplamai, kįlant augštyn gyvajam sidabrui uždaroje manometro šakoje, oro spaudimas joje kils einant Boyle-Mariotto dėsniu, ir skaitmens ant skalos, kuriais bus pažymėti atatinkamai padidėję spaudimai, juo augščiau, juo arčiau bus viena prie kitos, kaip to reikalauja hiperbolos lygtis. Su tokiais manometrais galima matuoti spaudimus iki keliasdešimt ir net iki keleto šimtų atmosferų, jeigu tik manometro vamzdis pagamintas iš gero, storo ir stipraus stiklo, bet jie visgi nepatogūs. Todel dideliems spaudimams matuoti vartojami metaliniai Bourdon'o manometrai. Tokį manometrą atvaizduoja 70 piešinys. Jo esminė dalis — plieno vamzdis su eliptinės formos skerskrodžiu, sulenktas gangreit rato pavidalu. Vienas to vamzdžio galas hermetiškai įeina į penimąjį vamzdį, kuris galima sujungti irgi hermetiškai su kompresorium arba su rezervuaru, sakysime, su garo katilu, kurio spaudimas reikia nustatyti. Kitas gi uždaras plieno vamzdžio galas sujungtas su metaliniu petimi, kuris sunertas su krumpliuote. Augant spaudimui plieno vamzdžio vidury, jis stengiasi išsitiesti, jo galas, judomai sujungtas su krumpliuote, tempia tą krumpliuotę į dešinę pusę. Krumpliuotės gi dantys užgriebia už nedidelės šeštarnės, su kuria sujungta iešma-rodyklė, taip kad iešma sukasi irgi į dešinę pusę. Spaudimui mažėjant plieno vamzdis riečiasi, ir iešma-rodyklė juda į kairę pusę. Lenta, ant kurios randasi plieno vamzdis su transmisija, turi apskritą skalą su padalijimais ir skaitmenimis, kurie reiškia čia atmosferas. Del tokių manometrų graduavimo, jie sujungiami su cilinderiu, kuriame randasi vanduo arba koks nors aliejus ir kuriame mažu trynimu gali slinkti žemyn cilindrinis stumiklis. Ant išorinio stumiklio galo randasi lenta, ant kurios dedami svoriai. Taigi žinant svorį ir stumiklio skerskrodžio plotą, galima apskaityti, kokį spaudimą tas stumiklis suteikia vandeniui arba aliejui, ir pažymėti atatinkama cifra tą skalos bruožą, ties kuriuo nusistoja iešma-rodyklė.



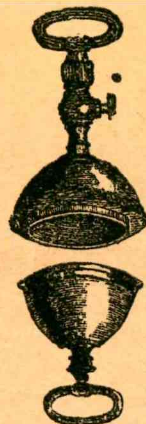
Pieš. 69

Grįšime dabar prie oro siurblių. Oro siurblys yra išrastas antroje XVII šimtmečio pusėje. Jo išradėjas Otto von Guericke (1602—1686), Magdeburgo miesto burmistras. Tiktai išradus oro siurblį ta forma, kaip jis augščiau aprašytas, galima buvo prieiti prie tikresnio oro ir aplamai dujų prigimties supratimo, darant eksperimentus su dujomis išretintame stovyje, ir tik dėka tokių eksperimentų paaiškėjo didelė išorinio spaudimo reikšmė įvairiems fizikos ir chemijos procesams.

Paimsime stalą dviejų metrų ilgio ir 1 metro pločio. Tokio stalo plotas bus 2 kvadratiniai metrai arba 20.000 kv. cm. Taigi oro spaudimas į stalo paviršių čia bus lygus apskritai 20.000 kilogramu, arba 20 tonų. Jeigu ant tokio stalo uždėti 20 tonų krovinį, tai aišku, kad stalas jo neištūrės ir suluš. Kaip gi stalas išlaiko tokį atmosferos spaudimą? Aišku, išlaiko todel, kad ir iš apačios spaudimas augštyn bus toks pat, nes dujose, kaip ir skystimuose, spaudimas perduodamas į visas puses vienodai. Vidutinio ūgio žmogaus paviršius bus apie 16.000 kv. cm. Taigi žmogaus kūno paviršių veikia jėga, lygi 16 tonų. Kodel gi tas spaudimas nesuploja žmogaus nepaverčia jo blynu? Todel, kad ir išvidinis spaudimas žmogaus kūno kanaluose, urvuose, akytėse irgi toksai pat, nes ir ten randasi oras. Ir mes taip esame pripratę prie šito spaudimo ir mūsų kūno dalys taip prie jo prisitaikę, jog pakilus mums labai augštai su aerostatu, kur išorinis spaudimas žymiai mažesnis negu ant žemės, kraujas ima veržtis pro gerklę, nosį ir net per odą.



Pieš. 70

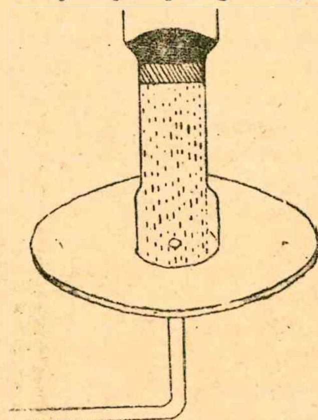


Pieš. 71

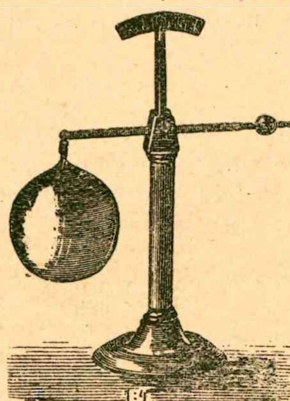
Otto von Guericke labai ryškiai demonstravo oro spaudimą dideliai žmonių miniai, kurioje dalyvavo imperatorius Ferdinandas II-sai, — paėmęs du didokus, tuščiais viduriais, geležinius pusrutulius (žiūr. 71 pieš.). Vieno pusrutulio krantai buvo iš oro nutekinti, o kito iš vidaus taip, kad vieną pusrutulį galima buvo užmauti ant kito makšties pavidalu, ištepus gerai taukais krantus, kad pusrutuliai būtų sujungti hermetiškai. Ant pusrutulių galų buvo tvirtos geležinės grindys, o vienas pusrutulis buvo aprūpintas trumpu vamzdžiu su bėgtuvu, pro kurį iš pusrutulių galima buvo evakuoti oras. Būnant pusrutuliuose orui, palyginti, lengva juos pertraukti, nes išorinis spaudimas lygus išvidiniam spaudimui. Bet kada Otto von Guericke su savo išrastu siurbliu išsiurbė iš pusrutulių orą, tad reikėjo pakinkyti prie pusrutulių galų po 8 arklius jiems pertraukti. Susirinkusiai miniai, lygiai kaip ir imperatoriui, eksperimentas padarė smarkaus įspūdžio. Tų pusrutulių diametras buvo apie 36 cm., vadinasi, jų paviršius buvo $4\pi r^2 = 4{,}3{,}14{,}18^2 = 4070$ kv. sm. Taigi iševakuavus orą iš vidaus, pusrutuliai buvo suspausti jėga 4070 kilogramų (su viršum 4 tonų) ir tai jėgai nugalėti iš viso reikalinga buvo 16 arklių. Nuo to laiko tokie pusrutuliai žinomi istorijoje kaipo Magdeburgo pusrutuliai.

Paimsime stiklo cilinderį, kurio vienas galas atdaras ir turi gerai nušlifuotus krantus, o ant kito galo užsukta trumpo metalinio cilinderio pavidalo mūterka, į kurią hermetiškai įdėtas plonos medinės lentelės dugnas. Padėsime ant siurblio

lėkštės (pačiame vidury) mažutį puodelį ir užmausime ant puodelio stiklo cilinderį, patepę iš pradžios taukais jo krantus, kad jis hermetiškai priliptų prie lėkštės (72 pieš.). Imsime dabar siurbliu siurbti orą iš cilinderio, užpylę ant medinio mūterkos dugno gyvojo sidabro. Išvidinis spaudimas sumažės, ir susidaręs spaudimų skirtumas varys gyvąjį sidabrą per medį taip, kad plonutės, gražios gyvojo sidabro, perėjusio per medžio akytes, srovės tekės žemyn į puodelį. Daug ir kitų įdomių eksperimentų galima atlikti oro siurblio pagalba. Čia pažymėsime tik dar dazimetrą (73 pieš.), kurio pagalba galima demonstruoti, kad Archimedo dėsnis veikia ir dujoms. Dazimetras susideda iš dviejų rutulių: mažiuko metalinio ir žymiai didesnio stiklinio, tuščiu viduriu. Abudu rutuliai randasi ant galų nedidelės svirties, kuri svyruoja apie gulsčią ašį ant štatyvo. Rutuliai parinkti taip, kad ore



Pieš. 72



Pieš. 73

jie nusveria vienas kitą. Bet stiklo rutulys, kaipo didesnio tūrio, išspaudžia daugiau oro negu metalinis rutuliukas ir, vadinasi, nustoja daugiau svorio, kaip metalinis rutulys. Vadinas, kad būtų pusiausvyra ore, stiklinis rutulys turi būti sunkesnis negu metalinis rutulys. Pastatysime dabar šitą dazimetrą ant oro siurblio lėkštės ir uždengsime jį vožtuvu su gerai nušlifuotais ir taukais išteptais krantais. Evakuodami siurblio pagalba orą laukan, mes tuoj pastebėsime, kad stiklinis rutulys slenka žemyn, o metalinis rutuliukas slenka augštyn ir juo labiau, juo daugiau bus iševakuota oro. Nustojus evakuoti orą ir atidarius siurblio bėgtuvą, oras paeina po vožtuvu, ir rutulių pusiausvyra tuojau atsitaiso. Tokiu pat prietaisu naudojosi Otto von Guericke, norėdamas surasti oro likučių spaudimą recipiente, evakuodamas iš jo orą, nes tuomet manometrai nebuvo dar surasti.

17 §. Gyvojo sidabro ir vandens oro siurbliai.

Pagalba anksčiau aprašyto, Otto von Guericke išrasto, siurblio su stumikliais ir dangčiais jų tobūliausioje konstrukcijoje, galima išretinti oras recipiente daugiausia iki 1 milimetro gyvojo sidabro stulpo spaudimo. Tuo tarpu ne tik teoretiniams tyrinėjimams, bet ir gyvenimo reikalams šiandien tenka vartoti aparatus kaip, pavyzdžiui, Grooks'o arba Röntgen'o vamzdžiai, kur oro arba dujų likučių spaudimas yra lygus 0,0001 — 0,000025 mm. Norint pasiekti tokį augštą oro arba dujų praskiedimo (išretinimo) laipsnį šiandien vartojami gyvojo sidabro oro siurbliai. Jie remiasi tuo, kad, padarius Torricelli'o tuštumą ir sujungus su ta tuštuma recipientą, dalis oro arba dujų iš recipiento pereina į tuštumą. Atkartojant tokį sujungimą recipiento su tuštuma galima pasiekti žymiai augštesnis išretinimo laipsnis, nes čia galima visiškai pašalinti vadinamąjį žalingą tarpą. Vienas geriausių gyvojo sidabro oro siurblių yra Toepler'io siurblys, kurį atvaizduoja 74 piešinys. Jis susideda iš barometrinio vamzdžio bent 800 mm. ilgio, išplėsto viršutinėje dalyje pa-

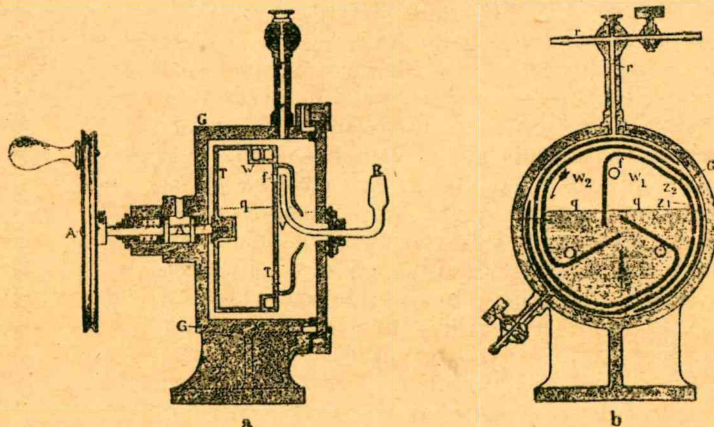
vidalu cilindrinio vamzdžio V, ir iš rezervuaro R iš stipraus stiklo gyvajam sidabrui. Barometrinis vamzdis ir rezervuaras sujungti stipriu, bet lanksčiu ir pakankamai ilgu kaučiuko vamzdžiu taip, kad galima būtų kelti rezervuaras R su gyvuoju sidabru augštyn ir leisti žemyn tam tikro mechanizmo pagalba. Cilindrinė barometrinio vamzdžio dalis viršuje virsta siauru stikliniu vamzdžiu, atlenktu žemyn ne mažiau kaip 800 mm. ilgio. Apatinis to atlenkto vamzdžio galas įleistas į indą su gyvuoju sidabru. Ta vieta, kur prasideda išplėsta barometrinio vamzdžio dalis V, ir tos dalies viršutinis kaklas sujungti stikliniu vamzdžiu (74 pieš. kairėj pusėj). Tasai jungiamasis vamzdis sujungtas dar su vienu vamzdžiu G truputį augščiau tos vietos, kur prasideda cilindrinis indas V. Vamzdis G irgi šiek tiek išplėstas viršutinėje dalyje, kurioje randasi lengvas stiklinis kamštis, neduodąs gyvajam sidabrui išeiti iš vamzdžio. Prie viršutinio to vamzdžio galo prilydytas cilindrinis vamzdis P su fosforo pentoksido anhidridu, kurio uždavinys absorbuoti vandens garus ir palaikyti oro arba dujų sausumą. Pagaliau prie vamzdžio galo P prilydytas recipientas, pavyzdžiui, Röntgen'o vamzdis, iš kurio evakuojamas oras.

Keldami augštyn gyvojo sidabro rezervuarą R, mes nuosaikiai ir pamaži pripilsime gyvojo sidabro visą barometrinį vamzdį ir jo cilindrinę dalį V, einant susisiekiamųjų indų dėsniu taip, kad gyvasai sidabras įeitų truputį į viršutinį indo V kaklą. Tuo pačiu laiku gyvasai sidabras įeis į jungiantį vamzdį kairėj aparato pusėj, lygiai kaip ir į vamzdžio G pradžią. Jis čia negalės pakilti augščiau, kaip parodyta piešiny, nes oro spaudimas recipiente (sakysime, Röntgen'o vamzdyje) priešinsis. Taigi keldami gyvojo sidabro rezervuarą R augštyn, mes visą orą iš indo V išvarysime pro atlenktą žemyn ilgą vamzdį ir per gyvąjį sidabrą inde, kuriame randasi to atlenkto vamzdžio galas, laukan. Vykstant šiai operacijai, oras iš indo V negalės pereiti į recipientą, nes neleis gyvasai sidabras, įsiveržęs į jungiamojo vamzdžio pradžią kairėj aparato pusėj ir į vamzdžio G pradžią, ir didesnis oro spaudimas, kaip išorinis spaudimas, taip kad lengviausias kelias išeiti orui iš V bus atlenktas žemyn vamzdis, ir oras pasirinks sau tą lengviausią kelią. Pripylę indą V gyvojo sidabro, leisime dabar gyvojo sidabro rezervuarą R atsargiai ir pamaži žemyn. Dabar eis žemyn ir gyvasai sidabras barometriniame vamzdyje, ir, vadinasi, inde V pasidarys tuštuma, į kurią ir pereis dalis oro iš recipiento. Toksai kilnojimas ir leidimas žemyn rezervuaro R, kiekvieną sykį vedąs prie išėjimo oro dalies iš recipiento į indą V, kartojamas tol, kol oro burbulai matomai išeina iš atlenkto vamzdžio galo per gyvąjį sidabrą inde, į kurį įkištas to vamzdžio galas. Tuo pačiu laiku gyvasai sidabras kįla vis augščiau ir augščiau atlenktame vamzdyje, taip kad skirtumas tarp gyvojo sidabro stulpo augščio tame vamzdy ir barometro augščio kiekvienu momentu parodys oro likučių inde ir, vadinasi, recipiente spaudimą. Taip pat kiekvienu sykiu gyvasai sidabras kįla augštyn jungiamajame vamzdy kairėj pusėj ir vamzdyje G, bet iš to vamzdžio negali pereiti į vamzdį P, nes gyvasai sidabras, kildamas augštyn, stumia stiklinį kamščiuką ir tuo būdu pats užkerta sau tolimesnį kelią, taip kad jis gali tik persilieti per jungiamąjį vamzdį į indą V. Pasiekus tokį stovį, kada jau nebematyti oro burbulų, veržiančiųsi iš atlenkto ilgo vamzdžio galo,—rezervuaras R keliamas augštyn tiek, kad gyvasai sidabras iš indo V keliais lašais persilietų į atlenktą žemyn ilgo vamzdžio dalį. Pakėlė rezervuarą R dar keletą sykių augštyn ir nuleidę jį tiek pat kartų žemyn, mes galime dar dalį jau labai mažų oro li-

Pieš. 74

kučių reciepiente išsiurbti. Toepler'io aparatu galima pasiekti oro išretinimas recipiente iki 0,000025 mm. oro likučių spaudimo. Vėsinant gi recipientą skystame ore, galima pasiekti dar augštesnis oro išretinimo laipsnis.

Toepler'io aparatas yra labai tobūlas siurblys, nes, kaip jau augščiau pasakyta, čia nereikia kovoti su žalingojo tarpo veikimu, todel kad skystas gyvasai sidabras gražiai išpildo visas indo V ir jungiančių vamzdžių nelygumus ir šiurkštumus, bet evakuavimas oro Toepler'io siurbliu reikalauja, palyginti, daug laiko (ištisų valandų), norint pasiekti augštas išretinimo laipsnis. Tokiais atvejais, kada norima greičiau pasiekti augštas oro išretinimo laipsnis, nors ir kiek žemesnis kaip Toepler'io siurbliu, vartojamas šiandien Gaede išrastas sukamas gyvojo sidabro siurblys, kurį atvaizduoja 75 piešinys (kairėj piešinio pusėj aparato pjūvis a žiūrint iš šono,



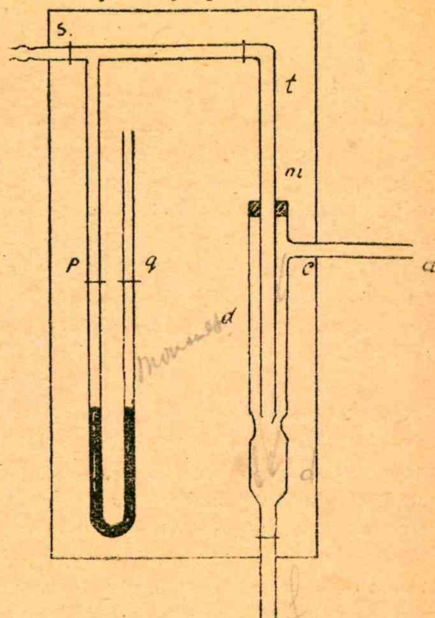
Pieš. 75

o dešinėj piešinio pusėj b žiūrint iš priešakio). Gaede siurblys susideda iš dviejų trumpų cilinderių: išorinio nejudamo iš storos geležies G ir vidujinio iš porcelano, kuris gali suktis. Tas vidujinis cilinderis tam tikromis spyruoklio pavidalo užlenktomis pertvaromis padalytas į 3 kameras. Išorinis nejudomas cilinderis G truputį daugiau kaip per pusę pripilamas gyvojo sidabro (iki lygumos q), taip kad viena iš porcelaninio cilinderio kamerų randasi visiškai užimta gyvuoju sidabru, kitos — didžioji dalis, o trečios—mažoji dalis. Porcelaninio cilinderio arba bugno sienelės sudaro kanalus, kurie, išeidami iš gyvojo sidabro, jungia kiekvieną kamerą su ta cilinderio dalimi, kuri užimta oru. Be to, kiekviena kamera turi skylę f, pro kurią ji gali susisiekti su nedideliu priekameriu V (žiūr. a pieš.), į kurį per gyvąjį sidabrą įeina galas vamzdžio R, jungiančio siurblį su recipientu, iš kurio evakuojamas oras. Sukant porcelaninį cilinderį, arba bugną, iš dešinės į kairę pusę, kaip rodo iešmutė piešinio b, visos tos kameros iš eilės nersis gyvajam sidabre ir kils iš jo augštyn. Priėjus į kamerą gyvojo sidabro iš jos bus išspaustas oras, kuris pro spyruoklinį kanalą išeis į neužimtą gyvuoju sidabru cilinderio dalį. Išeinant dabar tai kamerai iš gyvojo sidabro jos skylė f tuojau susijungs su priekameriu V (žiūr. a pieš.) ir kadangi joje dabar darysis tuštuma, tai tą kamerą ir užims dalis oro iš recipiento pro vamzdį R. Paskiau ta kamera vėl ims grimzti gyvajam sidabre, skylė f tuojau įeis į gyvajį sidabrą ir bus tuo būdu uždaryta, užtat tos kameros spyruoklinio kanalo galas išlįs iš gyvojo sidabro, ir oras iš jos bus išstumtas tuo būdu į cilinderio oru užimtą dalį ir iš ten pro vamzdį R (a pieš.) laukan. Aišku, kad per vieną porcelaninio cilinderio apsisukimą ta operacija oro siurbtelėjimo iš recipiento į kamerą ir pastūmėjimo to oro į cilinderio viršutinę dalį pasikartos 3 sykius ir todel, sukant už rankenos ratą A (a pieš.) su pakankamu greitumu, per 20—30 apsisukimų galima gangreit pasiekti pakankamas išretinimo oro laipsnis recipiente. Taigi šitas siurblys veikia panašiai į šviesos dujų skaitiklį, ir jo svarbi teigiama pusė yra pirmiausia ta, kad gyvasai sidabras, kaipo skystimas, sklandžiai išpildo visus cilinderio ir kanalų šiurkštumus ir nelygumus ir

tuo būdu pašalina žalingą tarpą. Be to, sujungus ratą A begaliu šniūru su elektros variklio skriemuliu, galima per 1 minutę apsukti porcelaninį cilinderį nuo 120 iki 150 sykių ir tuo būdu per keletą minučių pasiekti labai augštas išretinimo laipsnis, kurio ribos bus gyvojo sidabro garų spaudimas ta temperatūra, būnant kuriai dirbama, jeigu tik visos aparato dalys hermetiškai sujungtos taip, kad išorinis oras negali niekur persisunkti. Praktikoje geriausiu atveju galima pasiekti tokiu siurbliu oro išretinimas 0,0001—0,00005 mm. spaudimo.

Tuo pačiu principu remiasi žymiai pigesni Geryko aliejaus sukami siurbliai, bet del aliejaus garų didesnio spaudimo ir del sunkumo pašalinti iš paties aliejaus visą orą (iš gyvojo sidabro orą lengviau pašalinti), Geryko siurbliai nėra tokie tobūlūs, kaip gyvojo sidabro siurbliai, ir geriausiu atveju aliejaus siurbliu galima pasiekti išretinimo laipsnis iki 0,001 mm. spaudimo.

Dar yra oro siurblių, kurie remiasi tuo, kad vandens srovė, stumdama prieš save orą, sudaro užpakaly savęs tuštumą. Tokie siurbliai vadinasi srovės oro siurbliai ir buvo išrasti 1868 metais vokiečių chemiko Bunseno. 76 piešinys atvaizduoja tokį siurblį. Stiklo vamzdis stn savo galu s sujungtas su recipientu, o ant kito galo nt užmautas platesnis stiklo vamzdis d su šaka ca. Paleidus vandens srovę, sakysime, iš įvodos pro šaką ca, kiekvienas tos srovės lašas, krisdamas žemyn, platesniame vamzdyje d veiks kaip stumiklis stumdamas orą pro vamzdžio d galą f laukan, taip kad vamzdyje d susidarys relatyvi tuštuma. Todel oras arba dujos iš recipiento bus varomi į šitą tuštumą ir vandens srovės lašų bus varomi toliau pro galą f laukan. Juo stipresnė bus vandens srovė — juo didesnė pasidarys, palyginti, tuštuma ir juo didesnis galima bus pasiekti oro praskiedimo laipsnis recipiente. Prijungtas prie vamzdžio stn galo s manometras parodys pasiektą išretinimo laipsnį. Šitas aparatas galima vartoti ir kitaip, būtent, sujungus platesniojo vamzdžio d šaką ca su recipientu, o pro vamzdį stn leidžiant vandens srovę. Tada manometras pq reikia prijungti prie vamzdžio ca. Vandens srovė, išeidama iš vamzdžio stn galo n, varys orą iš vamzdžio d laukan ir, vadinasi, siurbs orą per šaką ca iš recipiento. Tokie siurbliai yra labai pigūs ir patogūs, nes turint šiokio tokio spaudimo vandenį, sakysime, cisternoje ant augšto, galima prijungti tokį siurblį bet kokioj vietoj prie įvodos čiaupo. Aišku, kad tokiu siurbliu pasiektas išretinimo laipsnis nebus didesnis, kaip vandens garų paprastąja temperatūra spaudimas. Norėdami pasiekti didesnį praskiedimo laipsnį, turėsime vietoj vandens pavartoti gyvąjį sidabrą ir tada mes turėsime Sprengel'io gyvojo sidabro srovės siurblį, kuris veikia panašiai kaip vandens srovės siurblys, bet duoda galimumo pasiekti žymiai didesnį oro išretinimo laipsnį iki 0,00001 mm. Kur tik reikia pasiekti labai augštas išretinimo laipsnis, visuomet vartojami Toepler'io arba Sprengel'io siurbliai.

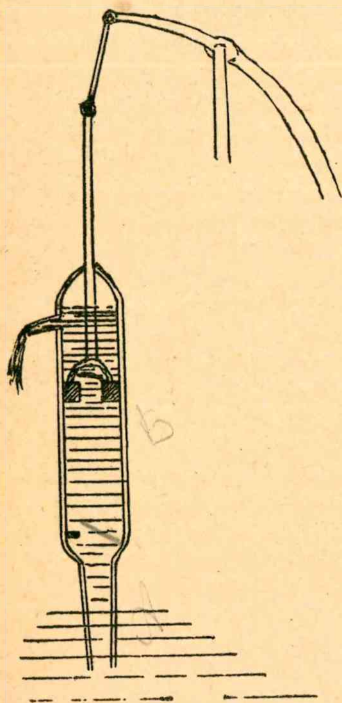


Pieš. 76

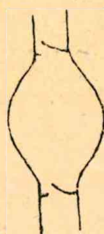
18 §. Vandens siurbliai, Herono bonka ir pulverizatorius.

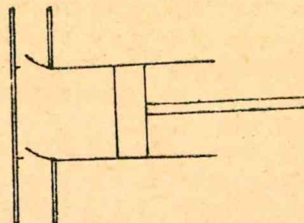
Kelti vandeniui augštyn vartojami vandens siurbliai, kurių veikimas remiasi atmosferos spaudimu. 77 piešinys atvaizduoja nuo seniausių laikų žinomą papra naminį vandens siurblį. Jis susideda iš cilinderio B, prie kurio iš apačios prijun mas ilgesnis vamzdis A, įleidžiamas savo galu į vandenį, sakysime, į šulinį. C

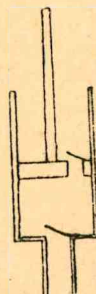
dery B slankioja žemyn ir augštyn stumiklis, sujungtas dviem stiebais su šalnieriais, kurie turi svirtis. Stumiklio vidury išgręžtas kanalas, uždarytas dangčiu iš viršaus, kuris gali atsidaryti tik augštyn. Toksai pat dangtis, atsidarąs augštyn, randasi toj cilinderio vietoj, kur prie jo prijungtas vamzdis A. Viršutinėje cilinderio dalyje, augčiau tos vietos, iki kurios gali būti pakeltas stumiklis, randasi snapas, arba žiotis, trumpo, užlenkto (užriesto) žemyn vamzdžio pavidalo. Tegu vamzdžio A galas įleistas į vandenį, kurio paviršius randasi ne daugiau kaip 10 metrų gilumo, skaitant nuo vietos kiek augščiau cilinderio dangčio. Veikdami svirtimi ir varydami stumiklį žemyn, mes suspausime orą cilindery taip, kad to oro spaudimas pasidarys didesnis, kaip išorinis atmosferos spaudimas. Taigi cilinderio dangtis bus prispaustas iš viršaus, stumiklio gi dangtis oro spaudžiamas atsidarys, ir oras iš cilinderio pro stumiklio kanalą išeis laukan. Keliant dabar stumiklį augštyn, cilinderyje susidarys



Pieš. 77





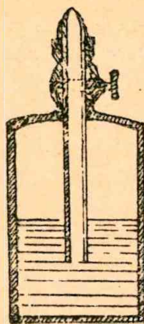


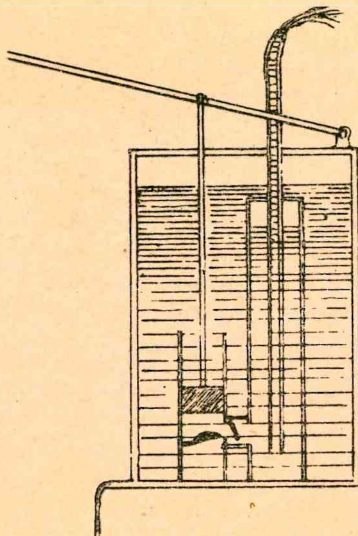
Pieš. 78

tuštuma, stumiklio dangtis užsidarys, cilinderio dangtis atsidarys, dalis oro iš vamzdžio A įeis į cilinderį, spaudimas oro į vandens paviršių vamzdyje pasidarys mažesnis, negu išorinis atmosferos spaudimas, ir vanduo vamzdyje pakils kiek augštyn. Veikdami svirtimi, mes kiekvienu stumiklio paslinkimu žemyn varysime orą iš cilinderio laukan, pakilimu gi stumiklio augštyn siurbsime orą iš vamdžio A ir, vadinasi, vis augščiau ir augščiau kelsime vandenį vamzdyje ir pagaliau įtrauksime vandens stulpą pro kanalą į cilinderį. Toliau veikiant, vanduo kils augštyn jau cilindery, kol jis pasieks apie 10 mtr. augščio, skaitant nuo jo paviršiaus šuliny. Dabar kiekvienu stumiklio paslinkimu žemyn, dalis vandens iš cilinderio pro stumiklio kanalą prasiskverbs augščiau stumiklio, taip kad pagaliau keliant stumiklį augštyn, tas vanduo ims tekėti pro žiotį laukan. Aišku, kad tik remiantis atmosferos spaudimu su aprašytu čia siurbliu galima bus pakelti vandenį ne augščiau kaip 10 metrų, bet pavartojus ilgą cilinderį galima, žinoma, ir tokiu siurbliu pakelti vandenį žymiai augščiau kaip 10 metrų. Atmosferos spaudžiamas vanduo pakils 10 metrų augštumo, pasieks, sakysime, cilinderyje vietą kiek augščiau žemiausios stumiklio padėties, o jau toliau stumiklis kiekvienu savo pakilimu augštyn kels augštyn ir vandens stulpą, kurio augštis bus lygus cilinderio B ilgiui nuo dangčio iki žioties ir varys šitą vandenį pro žiotį laukan. Taigi pavartojus ilgą cilinderį su ilgu stumiklio stiebu, tokiu siurbliu galima kelti vandenį augštyn iš gilių šachtų ir varyti jį laukan, arba, sakysime, kelti vandenį iš šulinio į cisterną ant namų augšto. Be to, galima kelti vandenį augštyn, taip sakant, laipsniais: vienu siurbliu pakelti iš šulinio ir suvaryti į cisterną, sakysime, 10 metrų augščio, į šitą cisterną įdėti vamzdžio galas antro siurblio ir jo pagalba pakelti vanduo į antrąją cisterną 10 metrų augščiau pirmosios ir t.t.

Ištikus progai, aprašysime 3 dangčių pastatymo būdus, kurie vartojami siurbliuose (žiūr. pieš. 78. 1, 2, 3 Nr.). Dangčiai parodyti piešiny 3 Nr. veikia taip, kaip jau

aprašyta, ir visuomet vartojami ten, kur reikia, kad vanduo prasiskverbtų augščiau stumiklio. Piešinys Nr. 1 atvaizduoja dangčius vadinamojo penimo, arba tvenkinančio, siurblio, lygiai kaip ir piešinys Nr. 2, kuris yra ne kas kita, kaip piešinio Nr. 1 modifikacija. Piešinys Nr. 1 atvaizduoja tvenkinantį siurblį timpos rutulio arba kriaušės pavidalo, ant kurios galo A užmautas ilgesnis kaučiuko vamzdis, o į galą B įdėtas trumpas stiklinis arba metalinis vamzdžiukas, dažnai vartojamas gydytojų ir šiaipjau naminiams reikalams injekcijoms daryti. Įleidę kaučiuko vamzdį į kokį nors skystimą ir paspaudę pūslę, mes išvarysime iš jos didžiąją oro dalį ir įtrauksime į ją skystimą, atleidę ją. Paspaudę vėl, mes tą skystimą išvarysime pro vamzdį, įdėtą į galą B laukan pavidalu gan stiprios srovės. Atleidę kriaušę, vėl įtrauksime į ją skystimą ir, suspaudę, vėl ją išvarysime ir t.t. Piešinys Nr. 2 atvaizduoja tvenkinantį siurblį, kuris veikia taip pat, kaip siurblys piešinio Nr. 1 ir kuris vartojamas sodnuose ir daržuose daržovėms, augalams ir medžiams laistyti. Įleidę siurblio galą A į vandenį ir varydami stumiklį priekin į kairiąją pusę, mes pro viršutinį galą B išvarysime didžiąją dalį oro laukan. Traukdami dabar stumiklį atgal, įtrauksime pro galą A ir apatinį dangtį vandenį ir kitu stumiklio pastūmimu į priekį išvarysime tą vandenį stiprios srovės pavidalu laukan. Sujungę tokį dangčių įtaisymą su vadinamosios Herono bonkos, arba rutulio, veikimu (išradėjas Heronas, pirmam šimtmety po Kr. G.), mes turėsime siurblį, kuris gali pareikšti didelį spaudimą ir išmesti stiprią ir labai augštą vandens srovę. Herono bonką, arba rutulį, atvaizduoja 79 pieš. Tai yra bonka, kurios vienoj daly yra vanduo, o kitoj dalyj suspaustas oras. Į bonkos kaklą hermetiškai įsuktas stiklinis arba metalinis vamzdis, kurio apatinis galas gangreit siekia bonkos dugną, o viršutinė dalis turi bėgtuvą, kurio pagalba galima sujungti vamzdžio kanalą su atmosfera arba uždaryti jį. Piešiny neparodytas dar vienas vamzdis su bėgtuvu, sujungtas su ta bonkos dalimi, kurioj randas oras. Pro tą

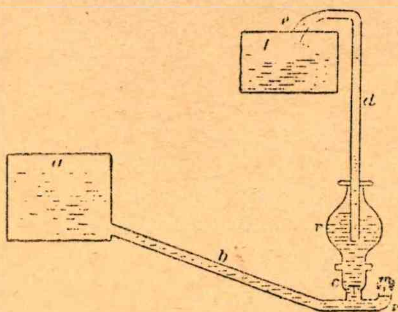

Pieš. 79


Pieš. 80

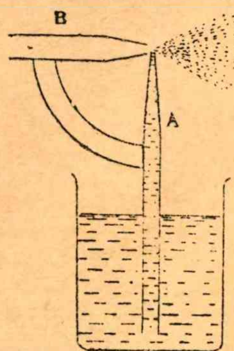
vamzdį galima pripumpuoti oro į bonką. Taigi, turėdami tokią bonką su vandeniu ir su suspaustu oru viršum vandens, atidarę bėgtuvą mes gausime gan smarkų, mušantį augštyn, vandens fontaną. Vartojama chemijos ir fizikos labaratorijose bonka-plovėja yra ne kas kita, kaip Herono bonka. Tai yra stiklo bonka su vandeniu, užkimšta kamščiu su dviem skylėm. Pro šitas skyles eina du, beveik stačiu kampu sulenkti, vamzdžiai, iš kurių vienas siekia gangreit bonkos dugną, o kito vamzdžio galas bonkoje randasi augščiau vandens. Jeigu dabar paėmus į burną pastarojo vamzdžio galą pūsti pro jį orą į bonką, tad per ilgesnį vamzdį vanduo kils augštyn ir pro jo snapą srovės pavidalu eis laukan. Tvenkinančio siurblio veikimas galima žymiai sustiprinti suderinus tam tikrą dangčių padėtį su Herono principu.

80 piešinys atvaizduoja tokį tvenkinantį, arba jėgos, siurblį, dažnai vartojamą sodnuose ir daržuose augalams ir daržovėms laistyti. Jis susideda iš rezervuaro su vandeniu, kuris galima pastatyti ant ratų. Tame rezervuare randasi du cilinderiai, sujungti trumpu kanalu. Viename cilinderių slankioja stumiklis, kuris galima varyti antros rūšies svirties pagalba. Tasai cilinderis turi du dangčius, iš kurių vienas užsidaro žemyn, stumikliui slenkant žemyn, o kitas, kuris randasi trumpo kanalo pradžioj, jungiančio abudu cilinderius, atsidaro į kanalo vidų. Keliant stumikli augštyn pastarasai dangtis uždarys kanalą, cilinderio gi dangtis pakils augštyn. Augštesniojo cilinderio viršutinėje dalyje randasi kamera C su oru (Herono kamera), ir pagaliau per šito cilinderio dangtį hermetiškai perkištas sulenktas vamzdis, kurio apatinis galas siekia gangreit cilinderio dugną. Pradėję veⁱkti svirtimi mes siurbsime vandenį iš rezervuaro į pirmąjį cilinderį ir varysime jį į antrąjį cilinderį, spausdami orą kameroje C. Taigi iš viršutinio vamzdžio galo eis stipri vandens srovė, kurios greitumas pareis nuo oro spaudimo kameroje C. Suspaudus tą orą iki keleto atmosferų ir atlenkus vamzdžio galą augštyn, galima paleisti vandens srovė iki keliasdešimt metrų augščio. Panašiai konstruotos gaisrinės mašinos duoda galimumo paleisti arba augštą vandens srovę arba tokią, kuri siekia gan toli.

Hidraulinis taranas irgi remiasi Herono principu ir yra labai patogus prietaisas, norint vandens srovės pagalba pakelti augštyn vandenį ir sutaupyti tą vandenį rezervuare, kuris randasi augščiau šulinio arba vandensšaltinio. 81 piešinys atvaizduoja tokį prietaisą. Jo esencialė dalis—didokaHerono bonka r su oru. Ta bonka kanalu b vienoj pusėj sujungta su vandens šaltiniu (šuliniu, tvenkiniu, upeliu) a. Tas vandens šaltinis turi būti kiek augščiau Herono bonkos. Kitoj pusėj ta Herono bonka vamzdžiu d sujungta su rezervuaru l, kuris randasi augščiau vandens šaltinio a, taip kad to vamzdžio viršutinis galas užlenktas ties rezervuaru l, apatinis gi galas gana giliai įeina į Herono bonką r. Ten, kur Herono bonka jungiasi su kanalu b, įtaisytas dangtis, kuris, srovės spaudžiamas, atsidaro į bonkos vidų. Pagaliau kanalo b galas turi dangtį v, kuris savo sunkumu atsidaro, nukrenta žemyn, į kanalo b vidų. Paleidus vandens srovę iš rezervuaro a pro kanalą b, ta srovė savo stiprumu pakels augštyn iš vienos pusės dangtį v ir uždarys tuo būdu kanalo b galą, o iš kitos pusės pakels augštyn į Herono bonkos vidų dangtį c irpadarys susisiekimą tarp kanalo b ir Herono bonkos. Taigi vanduo ims veržtis į Herono bonką ir spausti joje esantį orą tol, kol to oro reakcija pasidarys lygi srovės spaudimui. Tada dangtis c uždarys žiotį, vedančią į bonką r, ir tuo būdu vandens srovė kanale aprims. Tada



Pieš. 81



Pieš. 82

dangtis v savo svarumu paslinks žemyn, vadinasi, vėl atidarys kanalo galą, ir vėl iš to kanalo galo ims tekėti stipri vandens srovė, kuri atkartos jau aprašytą procesą, būtent: savo stiprumu vėl pakels dangtį v ir uždarys kanalo galą. Taip pat pakels augštyn dangtį c ir tuo būdu vandens srovė ims vėl veržtis į Herono bonką. Šitas periodinis srovės veikimas pagaliau taip suspaus orą Herono bonkoje, jog vanduo iš jos ims kilti augštyn vamzdžiu d ir lietis į rezervuarą l. Šituo sąmoningu prietaisu galima gerai naudotis ir pas mus Lietuvoje. Reikia tik neužmiršti, kad

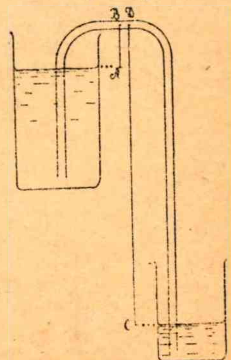
tuo būdu galima pakelti augštyn tik dalį paimto iš šaltinio vandens, o kita dalis nutekės pro kanalo b galą v.

Pagaliau pažymėsime čia dar vieną būdą vandeniui pakelti augštyn, būtent, pulverizatorių (82 pieš.). Sujungus du stiklinius arba metalinius vamzdžius A ir B tiesiu kampu taip, kad tų vamzdžių angos rastųsi viena po kita, įleidus vamzdžio A galą į stiklą su vandeniu arba su kuriuo kitu skystimu ir pučiant orą pro vamzdį B, oro spaudimas ties vamzdžio A anga pasidarys mažesnis kaip atmosferos spaudimas. Oras iš vamzdžio A ims veržtis pro angą laukan, o vanduo ims kilti augštyn vamzdyje A atmosferos spaudžiamas. Pagaliau iš vamzdžio A angos eis vandens srovė smulkiausių vendens dalelių pavidalu. Tokie pulverizatoriai vartojami ne tik naminiams reikalams, bet ir dideliu maštabu technikoje, kaip, pavyzdžiui, Diesel'io varikliuose, kur į degimo kamerą įvaromas suspaustas oras ir nafta pavidalu smulkiausių dulkių, kurios ir užsidega ten nuo suspausto oro karščio.

19. Sifonas, pipetė ir Mariotto bonka.

Paėmus kokį nors indą su kaklu, pripylus jį vandens, uždengus to indo atdarą galą delnu, stiklo plokštele arba net ir popieriaus gabalėliu, apvertus jį žemyn ir įdėjus į kitą indą su vandeniu, vanduo iš pirmojo indo netekės laukan, jeigu tik to indo augštis bus mažesnis kaip 10 metrų, nes atmosferos spaudimas gali pakelti vandens stulpą iki 10 metrų augščio. Pakišus dabar užlenkto vamzdžio galą po apverstu žemyn indo krantu ir pučiant pro tą vamzdį orą, — oro burbulai kils augštyn apverstame inde ir varys iš jo vandenį laukan, kada įvaryto oro spaudimas plus vandens stulpo spaudimas bus truputį didesnis kaip atmosferos spaudimas. Taigi tuo būdu mes galime pripildyti bet kokį indą oru arba kitomis dujomis, jeigu mums reikia išnagrinėti kokias nors bet kurių dujų savybes. Kada reikia turėti darbas su sausomis dujomis arba su dujomis, kurios smarkiai tirpsta vandeny, kaip, pavyzdžiui, anglies rūgštis arba amoniakas, tad vietoj vandens vartojamas gyvasai sidabras. Nepaisant savo didelio paprastumo, šitas būdas dujoms rinkti ir talpinti atskiruose induose įsivyravo tiktai nuo to laiko, kada buvo suprasta atmosferos spaudimo reikšmė ir tik nuo to laiko pasisekė pasiekti žymi pažanga dujų prigimties supratime.

Jeigu paimti bonka su siauru kaklu ir su lygiai, gražiai nušlifuotais angos krantais ir pripilti ją sklidiną vandens, taip kad joje nebepasiliktų nė vieno oro burbulo, tai apvertus ją kaklu žemyn, gali atsitikti, kad vanduo iš jos netekės laukan, net ir neįdedant kaklo į kitą indą su vandeniu. Tai atsitiks tada, kada ant angos krantų užsidės (susidarys) vandens plėkšnelė, kuri vaidins uždėto ant angos popieriaus gabalelio arba stiklo plokštelės vaidmenį. Norint iš tokios bonkos išpilti vandenį laukan, reikia visų pirma pasistengti įleisti į ją keletas oro burbuliukų ir paskum palenkti ją taip, kad per kanalą galėtų veržtis oras, tada iš žioties bėgs vanduo srovės pavidalu. Tai yra visiems žinomas paprasčiausias būdas vandeniui nuleisti. Bet kada reikia nuleisti vanduo arba kitas koks skystimas iš didelio rezervuaro, kurį sunku arba nepatogu palenkti, tad vandeniui arba kitam kokiam skystimui nuleisti vartojamas sifonas (83 piešinys). Paprasčiausia savo forma tai yra sulenktas stiklo, metalo arba net ir kaučiuko vamzdis, kurio viena šaka yra ilgesnė negu kita šaka. Įdėjus trumpesnę šaką į rezervuarą su vandeniu ir pačiulpus už kito galo burna arba net ir siurbliu, taip kad visas vamzdis prieitų vandens, vanduo tekės nuolatine srove iš augštai pastatyto rezervuaro žemyn, pakol vandens lyguma rezervuare pasieks įdėto į rezervuarą vamzdžio galą. Taigi pastačius po ilgesnės sifono šakos galu kitą indą galima nuleisti kuone visas vanduo iš rezervuaro, kuris randasi augščiau, į kitą indą, pastatytą žemiau. Įsivaizduokim sau per vidurį gulsčios, pripiltos vandens, sifo-



Pieš. 83

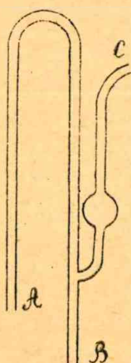
no dalies vandens plėkšnelę B. Einant susisiekimo indų dėsniu, šitą plėkšnelę veikia atmosferos spaudimas iš abiejų pusių — iš kairės ir dešinės (mes priimame čia, kad abiejų indų augščių skirtumas yra neperdidelis, taip kad barometras nerodo skirtumo abiejų indų plotmių; bet mūsų samprotavimai nenustos veikę ir tokiu atveju, kada atmosferos spaudimas žemesnio indo plotmėje bus aiškiai didesnis, kaip augštesnėje plotmėje), bet iš kairės pusės prieš šitą atmosferos spaudimą atkreiptas vandens stulpo spaudimas trumpesnėje sifono šakoje. Tegu atmosferos spaudimas bus H cm. vandens stulpo (arba $\frac{H}{13{,}6}$ cm. gyvojo sidabro stulpo), o vandens stulpo augštis trumpesnėje sifono šakoje h_1 cm., skaitant tą augštį nuo vamzdžio galo iki plėkšnelės B vidurio lygumos. Tad plėkšnelę B iš kairės pusės veikia spaudimas $H - h_1$ cm. (jeigu sifone mes turėsime ne vandenį, o kitą kurį skystimą, tai apskaityti spaudimui į plėkšnelę B, atmosferos spaudimą reiks išreikšti to skystimo atatinkamo augščio stulpu H_1 ir skirtumas $H_1 - h_1^1$ padauginti dar iš to skystimo lyginamojo svorio taip, kad tuo atveju spaudimas bus $(H_1 - h_1^1) . S$, jeigu mes skystimo lyginamajį svorį pažymėsime raide S). Spaudimas gi į plėkšnelę iš dešinės pusės bus lygus $H - h_2$, jeigu mes pažymėsime vandens stulpo augštį ilgesnėje sifono šakoje raide h_2, skaitant tą augštį nuo vamzdžio galo iki plėkšnelės B vidurio lygumos. Kadangi $h_2 > h_1$, tad $H - h_1 > H - h_2$ ir, vadinasi, plėkšnelė B bus įtakoj atstojamosios jėgos, atkreiptos į dešinę pusę, kuri ir varys tą plėkšnelę iš kairės į dešinę pusę ir toliau ilgesne sifono šaka žemyn į žemiau pastatytą indą. Kadangi tarp šitos plėkšnelės ir kaimyninių plėkšnelių veikia kohezijos (molekulinės traukos) jėgos, tad plėkšnelė B trauks, taip sakant, visas kitas plėkšneles, kurios randasi užpakaly jos, ir vanduo kils augštyn trumpesne sifono šaka ir slinks žemyn ilgesne jo šaka. Aišku, kad toks vandens tekėjimas bus galimas tik tol, kol sifono šakų augščiai augščiau skystimo paviršių abiejuose induose praneš to skystimo stulpą, kurį gali palaikyti atmosferos spaudimas tarp skystimo paviršių augščių abiejuose induose. Aišku taipgi, kad pastačius du tokius indus, sujungtus sifonu po siurblio lėkštės vožtuvu ir siurbiant orą laukan, sifonas veiks tik patol, pakol jo šakų ilgis bus atatinkamai suderintas su sumažintu oro spaudimu ir pakol vandens arba kito skystimo stulpų svoris sifono šakose praneš kohezijos jėgas, veikiančias tarp plėkšnelės B ir kaimyninių plėkšnelių, nes kitaip ryšys tarp plėkšnelės B ir kitų bus pertrauktas, ir vanduo arba kitas skystimas nutekės abiejose sifono šakose žemyn.

Sifonas tenka dažnai vartoti tose gamybos srityse, kur reikia turėti reikalo su didelėmis skystimų masėmis, norint nuleisti skystimą iš vieno rezervuaro į kitą, kaip, pavyzdžiui, alaus arba degtinės varyklose, žibalo, cukraus ir panašiose dirbtuvėse. Vietoj stiklinių vamzdžių ten vartojami lankstūs švino arba storo kaučiuko vamzdžiai, kurių vienas galas įleidžiamas į rezervuarą, pastatytą augščiau, o kitas galas — į žemiau esantį rezervuarą. Kad skystimas imtų tekėti, reikia siurblio pagalba ištraukti iš vamzdžio didumas oro, kurio vietą užima skystimas, išpildydamas visą vamzdį, ir tuo būdu susidaro jau aprašytas sifonas.

Tais atvejais, kada reikia nuleisti, palyginti, nedidelius kiekius kokių nors nuodingų skystimų, sifonui suteikiama forma, kurią atvaizduoja 84 piešinys. Mes čia irgi turime sulenktą U formos vamzdį su šakomis A ir B, bet prie šakos B pritaikinta dar trečia šaka C, kuri netoli nuo sujungimo vietos išpūsta rutulio pavidalu. Norint nuleisti nuodingą skystimą iš vieno indo į kitą, žemiau pastatytą, šaka A įleidžiama į nuodingą skystimą, galas šakos B, nustačius jį ties žemiau stovinčiu indu, užkišamas pirštu, o galu C, paėmus jį į burną, čiulpiama pakol skystimas pakils šakoje C iki rutulio. Atėmus pirštą nuo galo B, skystimas ims tekėti iš augščiau stovinčio į žemiau stovintį indą (rutulys reikalingas kaipo atsargos prietaisas, kad skystimo neįtrauktum į burną). Patogu netoli nuo galo B turėti bėgtuvas su kanalu, taip kad čiulpiant nereikėtų užkimšinėti galo pirštu.

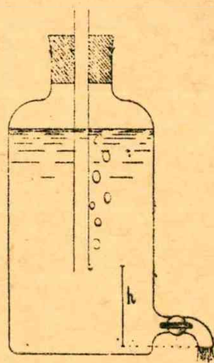
Pasemti ir nuleisti nedideliams skystimų kiekiams vartojamas liveris ir pipetė (žiūr. 85 pieš.). Tai yra nedidelis, daugiausia cilinderio arba kriaušės pavidalo

indas su kaklu ir su ištemptu ilgesniuoju galu vamzdžio pavidalo. Gramzdinant tokį indą į skystimą iki kaklo pradžios, kuone visas oras bus iš jo išstumtas skystimu, ir todel užkimšus pirštu kaklą ir ištraukus liverį iš rezervuaro su skystimu,



Pieš. 84


Pieš. 85



Pieš. 86

išpildęs jį skystimas laikysis jame atmosferos spaudžiamas, nors ir bus galas atdaras. Visiškai atėmus pirštą arba truputį jį pakėlus, skystimas ims smarkiau ar lėčiau tekėti traukiamas savo svorio jėgos ir gali būti nuleistas į kitą indą. Pipetė skiriasi nuo liverio tik tuo, kad turi du bruožu, arba ženklu: vieną paprastai ant ilgesnio kaklo augštėliau tos vietos, kur kaklas jungiasi su platesniąja pipetės dalimi, o kitą ant ištempto, vamzdžio pavidalu, pipetės galo irgi arti tos vietos, kur platesnė pipetės dalis virsta vamzdžiu. Pipetės gaminamos taip, kad tarp tų dviejų bruožų tilpsta tam tikras skystimo tūris, pavyzdžiui, 1, 2, 5, 10, 25, 50 kūb cm. ir t. t. Taigi pipetės pagalba, įleidus jos galą į skystimą ir čiulpiant burna, pro kaklo skylę galima įtraukti į ją skystimas ir užkimšus kaklo skylę pirštu, iškelti įtrauktas skystimas iš rezervuaro. Truputį atleidę pirštą, mes atsargiai veikdami nuleidžiame atgal į rezervuarą tiek skystimo, kad jo lygis pipetėje būtų sulig kaklo bruožu. Užėmę kaklo skylę pirštu, įleidžiame pipetės galą į indą, į kurį reikia perleisti skystimas, pamaži, atsargiai atleisdami pirštą, leidžiame skystimui tekėti iš pipetės laukan pakol skystimo lyguma pasieks antrojo bruožo ant pipetės galo. Užėmę pirštu, traukiame pipetę laukan — tuo būdu galime nuleisti, taip sakant, iš vieno indo į kitą indą atmatuotus skystimų tūrius.

Pagaliau aprašysime čia dar Mariotto bonką (86 pieš.), kuri dažnai vartojama labaratorijoje ir šiaipjau dirbtuvėse, norint gauti vienodo greitumo skystimo srovę. Tai yra paprasta bonka, mažesnė arba didesnė, nelygu reikalas, užkimšta hermetiškai kamščiu, pro kurio skylę įleistas į bonką stiklo vamzdis, kuris galima įstumti į bonką giliau arba pakelti jo apatinis galas bonkoje augščiau. Netoli nuo bonkos dugno randasi skylė, į kurią kamščio pagalba įdėtas užriestas vamzdis, dažniausiai su bėgtuvu. Išėmus iš bonkos kaklo kamštį su vamzdžiu, bonka pripilama vandens arba kito kokio skystimo, paliekant joje šiek tiek oro. Įdėjus kamštį ir nustačius tam tikrame augštyje h, skaitant nuo užriesto vamzdžio skylės lygio, stiklinio vamzdžio galą ir atidarius bėgtuvą, skystimas ims lietis laukan, skystimo lygis bonkoje slinks žemyn, pasilikęs bonkoje oras plėsis ir, vadinasi, jo spaudimas sumažės, taip kad tas spaudimas plus skystimo stulpo spaudimas, skaitant iki vamzdžio galų, pasidarys mažesnis kaip išorinis atmosferos spaudimas. Tad išoriniu spaudimu oras skverbsis pro atdarą vamzdžio galą į bonką ir jo burbulai kils per skystimo sluogsnį, pakol spaudimas oro augščiau skystimo plus spaudimas skystimo stulpo, skaitant iki vamzdžio galų, pasidarys lygus išoriniam atmosferos spaudimui. Taigi šitoje bonkoje automatiškai bus palaikomas atmosferos spaudimas iki skystimo lygio ties vamzdžio galu, nepaisant to, kad tekant skystimui laukan jo paviršius bonkoje visą laiką slinks žemyn. Taigi, pakol skystimo paviršius pasieks vamzdžio galo lygio, skystimas tekės iš užriesto vamzdžio išimtinai įtakoj skystimo stulpo spaudimo, kurio augštis yra lygus h, vadinasi, tekės vienodu greitumu, nes greitumas

$V = \sqrt{2gh}$. Norint turėti mažesnis greitumas, reikia stiklo vamzdį įvaryti giliau. Atbulai, patraukę vamzdį augštyn, mes gausime didesnį srovės greitumą.

20 §. Archimedo dėsnio reikšmė aerostatikoje.

Kaip skystime, taip ir ore arba kitose dujose pagramzdintas kūnas yra įtakoj spaudimo, atkreipto prieš to kūno svorio jėgą, vadinasi, augštyn spaudimo, kuris yra lygus išspausto oro arba dujų svoriui. Taigi ore ir dujose kiekvienas kūnas sveria mažiau kaip tuštumoje. Šitas faktas galima demonstruoti dazimetro, arba baroskopo, pagalba, kaip jau apie tai buvo kalbėta oro siurblių skyriuje. Kadangi oras, palyginti, yra labai lengvas kūnas, tai šitas faktas neimamas domėn sveriant įvairius kūnus paprastam praktikos gyvenime, bet darant tikslius fizikos arba chemijos tyrinėjimus, kur dažnai būna reikalo atsverti paimtą kūną iki šimtosios dalies miligramo arba net ir iki tūkstantosios dalies; pataisos del priežasties svorio sumažėjimo yra būtinos, ypač kad dažniausiai sveriami kūnai ir vartojami pasvarėliai būna iš įvairios medžiagos ir todel nevienodo tūrio (kad tūris sveriamų kūnų ir vartojamų pasvarėlių būtų tas pats, tad ir vieni ir kiti nustotų tiek pat savo svorio ir, prilygindami kūno masę paimto pasvarėlio masei, mes be jokių pataisų gautume tikslų rezultatą). Pažymėsime tikrą kūno svorį tuštumoje raide p ir jo lyginamąjį svorį raide d, taip pat tikrąjį pasvarėlių svorį tuštumoje pažymėsime raide q ir jų lyginamąjį svorį raide s. Mes jau žinome, kad, būnant nulio laipsnio temperatūrai ir normaliniam atmosferos spaudimui (760 mm.), vienas litras oro sveria 1,293 gramų, vadinasi, 1 kūb. cm. sveria 0,001293 gramų. Kadangi ore visuomet randasi vandens garų ir del jų oras darosi lengvesnis, tai pataisoms mes apskritai galime priimti, kad 1 kūb. cm. tokio oro sveria 0,0012 gr. (reikalui esant, galima visuomet apskaityti, kiek iš tikrųjų sveria 1 kūbinis centimetras oro, žinant barometro parodymą, garų tūrį ir temperatūrą ir tuo būdu nustatyti tikslesnę pataisą). Paimto kūno tūris bus $\frac{p}{d}$. Vadinasi, išspaustas to kūno oras sveria $\frac{p}{d} . 0{,}0012$, ir jo svoris ore bus $p - \frac{p}{d} . 0{,}0012$. Vartotų pasvarėlių tūris bus $\frac{q}{s}$, jų išspaustas oras svers $\frac{q}{s} . 0{,}0012$. Taigi pasvarėlių svoris ore bus $q - \frac{q}{s} . 0{,}0012$. Kadangi kūno svoris ir pasvarėlių svoris ore yra lygus, tai $p - \frac{p}{d} . 0{,}0012 = q - \frac{q}{s} . 0{,}0012$, arba $p \left(1 - \frac{0{,}0012}{d}\right) = q \left(1 - \frac{0{,}0012}{s}\right)$. Iš čia tikrasai kūno svoris tuštumoje $p = \dfrac{q \left(1 - \frac{0{,}0012}{s}\right)}{1 - \frac{0{,}0012}{d}} = q \left(1 - \frac{0{,}0012}{s}\right) \left(1 + \frac{0{,}0012}{d}\right) =$ $= q \left(1 - \frac{0{,}0012}{s} + \frac{0{,}0012}{d}\right)$. Šita lygtis rodo, kaip apskaityti tikrasai kūno svoris iš pasvarėlių svorio, kurie tą kūną atsveria ore.

Einant Archimedo dėsniu nustatomas dujų lyginamasai svoris. Reikia tik atsiminti, kad, del didelio dujų lengvumo, jų lyginamasai svoris nustatomas ne vandens atžvilgiu, bet oro arba vandenilio atžvilgiu. Paprasčiausias būdas nustatyti kokių nors dujų lyginamajam svoriui,—reikia pripildyti indus, dažniausiai rutulio pavidalo iš stiklo, dujomis atsverti, išsiurbti tas dujas ir vėl atsverti. Paėmę skirtumą šitų dviejų svorių, padarę pataisą dujų likučiams (nes visų dujų iščiulpti negalima) ir sumažėjimui svorio ore, mes gausime tam tikro tūrio dujų svorį. Tas pats reikia padaryti ir tokiam pat tūryje su oru. Padalinę vieną svorį iš kito, mes gausime lyginamąjį dujų svorį oro atžvilgio. Kad nereiktų daryti pataisų svorio ore sumažėjimui, dažnai vartojamos svarstyklės augščiau aprašyto dazimetro, arba baroskopo, pavidalo. Ant vieno tokių svarstyklių žasto kabinamas tam tikro tūrio nedidelis indas su dujomis, o ant kito žasto svoris tokio pat tūrio kūno pavidalu. Taigi čia, kieku bus

mažesnis ore indo svoris, kuriame sveriamos dujos, lygiai tieku sumažės ir kūno svoris, kuriuo tos dujos atsveriamos.

Žymiai paprastesnis ir greitesnis būdas dujų lyginamajam svoriui nustatyti remiasi tuo pačiu principu, kaip ir augščiau aprašytos Mohr'o-Westfal'io svarstyklės skystimų (sklystinių) lyginamajam svoriui nustatyti. Ant vieno tokių svarstyklių žasto kaba tam tikro tūrio, dažniausiai stiklo, kūnas. Ant kito žasto — lėkštė, ant kurios uždedama tiek svorių, kad ore būtų pusiausvyra. Įleistas dabar šitas kūnas į indą su dujomis, pavyzdžiui, su anglies rūgštimi, azoto dvideginiu ir t. t., nustos tiek savo svorio, kiek sveria jo išspaustos dujos, ir pusiausvyrai atstatyti reiks nuo lėkštės nuimti arba uždėti vieną kitą pasvarėlį, nes, kai imamos dujos lengvesnės už orą, kūnas pasirodo sunkesnis už lėkštę su pasvarėliais, o kai imamos dujos sunkesnės kaip oras, kūnas pasirodo lengvesnis kaip lėkštė su pasvarėliais. Taigi nuimti nuo lėkštės ar pridėti ant jos pasvarėliai pusiausvyrai atstatyti parodys, kiek paimtos dujos kūno tūryje sveria daugiau ar mažiau, kaip tokio pat tūrio oras. Iš čia jau lengva apskaityti dujų lyginamasai svoris oro atžvilgio.

Pagaliau trumpais bruožais paliesime čionai kūnų plaukiojimą ore. Galima manyti, kad žmogui įgimtas yra noras lakioti ore, ir todel nuo seniausių istorijos laikų atskiri žmonės darydavo pastangas įvairių prietaisų pagalba pakilti į orą ir lėkti jame. Žinomas padavimas apie mechaniką Dedalą ir jo sūnų Įkarą, kurie, būdami uždaryti karaliaus Minoso labirinte, paruošę sau sparnus ir prisilipdę juos prie savo kūno vašku, išlėkę iš labirinto ir pakilę į padanges. Bet jaunas Ikaras per savo neatsargumą perdaug prisiartinęs prie saulės, vaškas ištirpęs, sparnai atkritę, ir Ikaras nudribęs į jūrų gelmę. Taip pasibaigusi šita pirmutinė pastanga pakilti į padanges ir taip labai dažnai baigiasi ir kitos gražios žmonių svajonės, pakol ateina laikas toms svajonėms įvykti

Nuo seniausių laikų ne vienas įžymus manytojas ir tyrinėtojas mėgino išspręsti skrajojimo ore problemą, bet jiems tai nepasisekė, pakol oro ir kitų dujų savybės buvo pakankamai neišaiškintos ir nesuprastos. Užvis labiau prie šitos problemos išsprendimo prisiartino jau mechanikoje paminėtas garsus gamtos mokslų atgaivintojas Leonardo da Vinci (1452—1517). Jis studijavo, kaipo dailininkas ir mechanikas, paukščių skrajojimą ore ir, remdamasis savo išvadomis, pagamino proektą aparato, sunkesnio kaip oras (panašiai kaip paukščiai sunkesni už orą), skrajoti ore. Tasai aparatas bendrais bruožais išsprendžia dinaminės oro mašinos problemą, bet įvykinti savo idėjos tikrenybėje, vadinasi, konstruoti tikrą aeroplaną, kaip jie mums žinomi šiandien, Leonardo da Vinci nepasisekė išimtinai del nepakankamai išsivysčiusių tais laikais technikos resursų, taip kad reikėjo laukti daugiau kaip 4 šimtmečiai, pakol Leonardo da Vinci idėja buvo realizuota aeroplanų pavidalu.

Kaip jau mes matėme, nuo Galilejaus ir Torricelli'o laikų prasidėjo oro ir dujų savybių nagrinėjimas, ir XVII šimtmečio pabaigoje skysčių, arba sklystinių, ir dujų statikos ir kinetikos pagrindiniai dėsniai buvo nustatyti, ir todel suprantama, kad skrajojimo ore problema buvo realizuota pirmiausia remiantis kūnų skysčiuose arba dujose pusiausvyros sąlygomis, vadinasi, remiantis Archimedo dėsniu. Kaip jau paminėta, Archimedo dėsnis pritaikomas taip pat dujoms, kaip ir skysčiams, ir pusiausvyros ir plaukiojimo sąlygos kūnų, kybančių ore, esmėj yra tos pačios, kaip kūnų, panertų skysčiuose. Taigi kiekvienas kybąs ore kūnas yra įtakoj spaudimo jėgos, atkreiptos augštyn prieš to kūno svorį, kuri (jėga) yra lygi kūno išspausto oro svoriui, einant Archimedo dėsniu. Jeigu ta jėga pasidarys lygi kūno svoriui, tai toks kūnas kabės ore. Jei ta jėga bus didesnė kaip kūno svoris, kūnas kils augštyn. O jeigu ji bus mažesnė, kūnas kris žemyn. Pagaminus pakankamai didelio tūrio kūną iš, palyginti, lengvos medžiagos ir pripildžius jį kokiomis nors dujomis, — pavyzdžiui, vandeniliu, — lengvesnėmis kaip oras, lengvai galima realizuoti tokį dalykų būvį, kad kūno išspaustas oro svoris bus didesnis, kaip paties kūno su jo turiniu svoris, ir tada toks kūnas kils ore augštyn, kaip kyla augštyn muilo burbulai arba vaikų leidžiami burbulai iš lengvos medžiagos, pilni vandenilio. Šitą mintį pirmą sykį realizavo du broliai Montgolfier, prancūzai, Paryžiuje 1782 metais. Jie pagamino milžinišką gumos

rutulį keliolikos metrų diametro, pripildė jį šiltu oru, kuris yra lengvesnis kaip šaltas oras ir, prikabinę prie to rutulio krepšį, pakilo augštyn didelės žmonių minios akivaizdoj. Tokiu būdu broliai Montgolfier pirmutiniai realizavo praktikoje aerostato principą. Tuo pačiu klausimu ir tuo pat laiku domėjosi ir kiti Prancūzijos mokslininkai, tarp jų Gay-Lussac ir Charles, kurie ypatingai daug prisidėjo savo tyrinėjimais dujų šiliminėms savybėms išaiškinti. Norėdami pasiekti didesnio efekto, vadinasi, didesnės aerostato pakeliamosios jėgos (skirtumas tarp išspausto oro svorio ir kūno su jo tūriu svorio), jiedu pasiūlė išpildyti aerostato rutulį vandeniliu, kaipo lengviausiu iš visų dujų. Kadangi vandenilio gaminimas gan brangiai atsieina, tai vėliau jau, XIX šimtmety, buvo pasiūlyta vartoti tam reikalui šviesos gazą, kaipo žymiai lengvesnį už orą ir pigesnį, bet sunkesnį už vandenilį. Vadinasi, aerostatai su šviesos gazu turi būti žymiai didesnio tūrio kaip aerostatai su vandeniliu, norint pasiekti tokią pat pakeliamąją jėgą.

Paaiškinsime šitą principą konkrečiu pavyzdžiu. Konstruosime iš lengvos medžiagos, sakysime, pararezinos, iš kurios šiandien daugiausia konstruojami aerostatai ir aeroplanai, 10 metrų diametro rutulį. Tokio rutulio tūris bus $\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3} \cdot 3{,}14 \cdot (5)^3$ kūb. metrų. Kaip jau mes žinome, vienas kūbinis metras oro sveria 1,293 kilogr. o 1 kūb. metras vandenilio 0,09 kilogramo. Taigi pakeliamoji tokio aerostato jėga bus lygi $\frac{4}{3} \cdot 3{,}14 \cdot (5)^3 (1{,}293 - 0{,}09) = 628$ kilogramams. Tegu medžiaga (pararezina), iš kurios konstruotas aerostatas, sveria 160 kilogramų. Prie aerostato reikia prikabinti krepšis arba dėžė keleiviams ir jų instrumentams. Tai daroma aptraukiant rutulį iš oro tinklu iš plono, bet stipraus lyno. Tegu tinklas sveria 80 kilogramų ir krepšis arba dėžė keleiviams — 50 kilogramų. Toksai aerostatas yra pilnoje vėjo valioje, į ką ypatingai reikia atkreipti domę nusileidžiant žemyn, nes kaip tik tada aerostatas bus blaškomas į visas puses, ir jį ir jo keleivius gali ištikti katastrofa. Norint suteikti jam reikalingo pastovumo, ir kįlant ore augštyn, o ypač nusileidžiant žemyn, prie aerostato kabinamas sunkus inkaras ant lyno. Taigi nusileidžiant žemyn tas inkaras pirmutinis pasiekia žemę ir, įsirėmęs į žemę, šliauždamas suteikia reikalingą pastovumą aerostatui. Tegu tas inkaras su lynu sveria 100 kilgr. Pagaliau tegu du keleiviai sveria 130 klgr. Taigi aerostato su visomis jo dalimis svoris bus 520 kilogramų. Kadangi pakeliamoji mūsų aerostato jėga yra 628 kilogramai, tad pasilieka dar atstojamoji jėga, veikianti augštyn ir lygi 108 klgr. Tokia jėga suteiktų aerostatui perdidelį greitėjimą augštyn, ir kad to išvengtų, keleiviai paprastai krauna dar į krepšį balastą pavidalu maišų su smėliu arba net ir su žvyru. Toksai balastas visų pirma reikalingas reguluoti aerostato greitėjimui, kįlant jam augštyn. Augštesni oro sluogsniai yra lengvesni, kaip žemesni, ir todel kįlant aerostatui augštyn, jo pakeliamoji jėga mažėja. Be to, augštesniuose oro sluogsniuose atmosferos spaudimas į aerostato paviršių mažėja, ir kaipo to išdava, patalpintas jo rutulyje vandenilis plečiasi ir tuo būdu didina aerostato tūrį. Taigi tam tikroje augštumoje aerostatas tūrisi ore, nekildamas augštyn ir neslinkdamas žemyn, nekalbant jau apie tai, kad plečiantis vandeniliui aerostato plėkšnė gali būti pradrėksta. Kad galima būtų išvengti tokios katastrofos, viršuj aerostato randasi vamzdis su dangčiu, nuo kurio eina viela į krepšį, taip kad kartkartėmis keleiviai tempdami šitą vielą atidaro dangtį ir išleidžia vandenilį. Be to, protarpiais jie išpila iš vieno, kito maišo smėlį arba žvyrą, sumažindami tuo būdu balastą ir palaikydami tam tikrą atstojamąją jėgą, vekiančią augštyn ir, vadinasi, tam tikrą greitėjimą (greitėjimas paprastai kompensuojamas oro trynimo greitėjimu, atkreiptu į priešingą pusę, taip kad pagaliau aerostatas kįla augštyn maždaug vienodu greitumu).

Taigi aerostatai yra mašinos, lengvesnės už orą, ir jos veikia pirmiausia einant Archimedo dėsniu ir remiantis tomis išvadomis iš to dėsnio, kurios liečia plaukiojimą kūnų skysčiuose. Tų aparatų silpna pusė yra ta, kad jie yra pilnoje oro srovių (vėjo) valioje, ir šiek tiek reguluoti jų judėjimas tegalima tik statine kryptimi.

Vokietis grovas Zeppelinas suderino aerostato principą su aeroplano principu ir konstruavo milžinišką aerostatą cigaro pavidalo (gangreit tokio didumo, kaip Koelno katedra), kurio judėjimas ore galima kontroluoti, suteikiant jam didesnis arba mažesnis greitumas, varant jį prieš vėją, sukant jį, lenkiant ir t. t. Jis gali pakelti keliolika keleivių su sunkiu bagažu. Silpna ir pavojinga jo pusė — daugybė eikvojamo vandenilio.

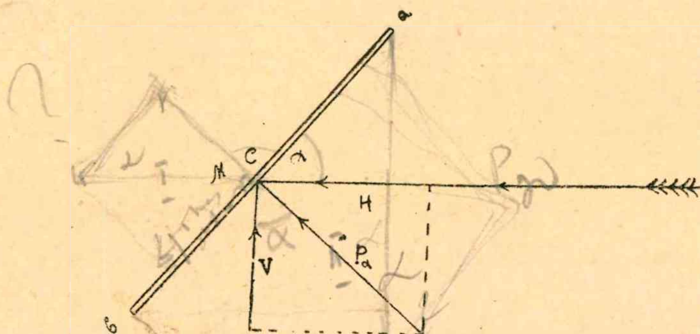
21 §. Aerokinetika. Aeroplanai.

Kalbėdami apie kūnų judėjimą skysčiuose, mes jau matėme, kad kūnui tenka nugalėti iš vienos pusės skysčių inercijos pasipriešinimą, o iš kitos pusės skysčių vidujinį trynimą, kuris pareina nuo kohezijos jėgų tarp skysčių molekulų. Taip pat mes matėme, kad slenkant kūnams skysčiuose, palyginti, mažais greitumais, reikia skaitytis visų pirma su vidujinio trynimo pasipriešinimu, nes tuo atveju skysčio sluogsniai daugiausia pasilieka parimę, ir jų inercijos pasipriešinimas yra mažas dydis. Kas dedasi, slenkant kūnams ore arba aplamai dujose, palyginti, dideliais greitumais? Kadangi kohezijos jėgos dujose yra labai silpnos, tai čia tenka skaitytis pirmiausia su oro arba dujų masių inercijos pasipriešinimu. Paimsime kūną plokštės pavidalo ir suteiksime jam greitumą v gulsčia kryptimi. Pritaikindami relatyvumo principą mes galime įsivaizduoti sau kūną parimusį, o orą slenkantį gulsčia kryptimi į priešingą pusę greitumu v. Dar XVII šimtmečio pabaigoje (1687 m.) Newton'as nustatė pagrindinius dėsnius tokiam atsitikimui, būtent, eksperimento keliu ir teoretiniais samprotavimais Newton'as konstatavo, kad tokiomis aplinkybėmis oro srovė (vėjas) suteikia plokštei spaudimą, proporcingą greitumo kvadratui, taip kad to spaudimo pridedamasai taškas randasi plokštės vidury (masės centre) ir spaudimo linkmė sudaro tiesų kampą su plokšte. Pažymėsime plokštės plotą raide q (kvadrat. metrais) ir veikiančią jėgą raide P (kilogramais). Tad spaudimas p bus lygus $\frac{P}{q}$, ir mes turėsime lygti $p = \frac{P}{q} = kv^2$, arba $P = kqv^2$, jeigu raide k pažymėsime tam tikrą konstantą, kuri, kaip rodo lygtis, reiškia ne ką kita, kaip tą jėgą, kuria oras veikia plokštę, būnant tos plokštės plotui lygiam 1 kvadrat. metrui, o oro greitumui lygiam 1 metrui ir išreiškiant jėgą kilogramais. Savo eksperimentais Newton'as nustatė, kad šita konstanta k vidutiniškai yra lygi 0,07 kilogramo. Vadinasi, vėjas, kurio greitumas yra lygus 10 metrų per sekundą, spaudžia į plokštę 1 kv. mtr. 7 kilogramų jėga, o vėjas, greitumo 20 metrų per sekundą (vadinasi, jau gangreit audra), suteikia spaudimą 28 kilogr. Savaime suprantama, kad tas oro srovės spaudimas pareina nuo oro masingumo, arba tankumo, kuris yra nevienodas įvairiuose atmosferos sluogsniuose, ir todel, norint pritaikinti Newton'o lygtį prie įvairių oro sluogsnių ir aplamai prie įvairių dujų, reikia dar įvesti tankumo veiksnį. Pažymėję oro arba dujų tankumą raide d, mes turėsime šį bendrą išreiškimą, pritaikomą visoms dujoms, jėgos P, kurią reiškia dujų srovė: $P = hdqv^2$. Čia h irgi bus tam tikra konstanta, bet kitos skaičių reikšmės negu k del priežasties tankumo veiksnio įvedimo. Savaime suprantama, kad šita lygtis be jokių atmainų gali būti pritaikinta apskaityti skysčio srovės spaudimui į plokštę. Tos lygties prasmė yra ta, kad jeigu skystis arba dujos yra parimę, o jose slenka plokštė, tai kiekvienu momentu šitą plokštę turi veikti statmenai jėga, lygi P, atkreipta judėjimo prasme, kad galėtų kompensuoti skysčių arba dujų spaudimą į plokštę, atkreiptą prieš judėjimą. Ta spaudimo jėga yra mažesnė, kada srovės linkmė sudaro su plokšte mažesnį kampą, kaip tiesus (arba, kitaip kalbant, kada plokštė slenka nuožulniu kampu, gulsčios krypties atžvilgiu). Bet ir tada atstojamoji visų spaudimo jėgų veikia plokštę stačiu kampu. Kai del to spaudimo didumo, tai jis yra tiesioginai proporcingas sinui kampo, kurį sudaro plokštė su gulsčia linija (arba kurį skysčio arba oro srovės linkmė sudaro su plokšte). Pažymėję šitą kampą raide α, maksimalę spaudimo jėgą, kada plokštė sudaro tiesų kampą su guls-

čia linija, — raide P_{90} ir spaudimą, esant kampui α — raide $P\alpha$, mes turėsime šį santykį: $P\alpha = P_{90} \sin\alpha$, arba, pakeitus P_{90} jau augščiau nustatytąja jo reikšme, $P\alpha = h\, d\, q\, v^2 \sin \alpha$.

Kaip jau pasakyta, atstojamoji visų spaudimo jėgų $P\alpha$ veikia plokštę stačiu kampu, bet tų spaudimo jėgų pridėjimo taškas randasi jau nebe plokštės vidury (dažniausiai tokios plokštės vidurys sutampa su jos masės centru), bet yra pasistūmęs priešakinės plokšties kranto link ir randasi juo arčiau prie to kranto, juo mažesnis kampas α. Taigi, kada tokia plokštė gali suktis apie ašį, kuri eina per jos vidurį (arba per jos masės centrą), tai pagaliau tokiomis aplinkybėmis ima suktis ir nusistoja stačiu kampu srovės linkmės atžvilgiu. Jeigu gi plokštė gali suktis apie ašį, ekscentrinai patalpintą, tai ji sukdamasi nusistoja srovės linkmės atžvilgiu tokiu kampu α, būnant kuriam spaudimo jėgos $P\alpha$ pridėjimo taškas sutampa su sukimo ašimi.

Šitą spaudimą $P\alpha$ galima išskaidyti į dvi jėgas: statine ir gulsčia, arba srovės, kryptimi (žiūr. 87 pieš.). Iš piešinio aišku, kad statinė komponenta $V = P \cos\alpha = P_{90} \sin\alpha \,.\, \cos\alpha$, o gulsčia komponenta $H = P\alpha \sin\alpha = P_{90} \sin^2 \alpha$. Taigi



Pieš. 87

komponenta V yra ne kas kita, kaip ta jėga, kuri varo malūno sparną, pastatytą nuožulniai vėjo atžvilgiu ir atbulai, jeigu, pavyzdžiui, garlaivio sraigtas-propeleris sukamas komponentosH veikimo prasme, tad komponenta V yra ta jėga, kuri varo garlaivį priekin. Reikia dar turėti omeny, kad kampas α bus kitoks tuo atveju, kada ir plokštė ir oras juda.

Aprašytu čia spaudimo jėgos išdėstymu remiasi aitvaro skrajojimas ore, su kuriuo vaikai, nežinodami mechanikos, puikiai moka apsieiti dėka savo sveikų instinktų, o aeroplanas, skrajojimo mašina sunkesnė už orą, yra pagaliau ne kas kita, kaip modifikuotas ir labiau komplikuotas aitvaras. Suteikę plokštei AB pakankamą greitumą v, sakysime, patalpinus ant jos variklį ir to variklio pagalba greitai sukant propelerį, bus išvystyta pakankama varomoji jėga, kad pergalėtų gulsčios komponentos H ir kitokį pasipriešinimą aparato judėjimui, o iš kitos pusės statinė komponenta V išsivystis tiek (ji atkreipta prieš veikiančią žemyn svorio jėgą), kad galėtų palaikyti ore pusiausvyroj visą aparatą, ir net su keleiviais jame, ir pagaliau net varyti aparatą augštyn. Šituos dalykus puikiai suprato XV šimtmety Leonardo da Vinci, bet jis pirmiausia neturėjo tokių variklių, kurie, būdami pakankamai lengvi (sverdami ne daugiau kaip 10 — 20 klgr.), galėtų išvystyti keliasdešimt ir net šimto arklių jėgą. Tokie varikliai atsirado tik XIX šimtmečio pabaigoje dėka termodinaminių tyrinėjimų ir termodinamikos mokslo iš vienos pusės ir turtingų sportsmenų ir šiaipjau mėgėjų greitai važinėti iš kitos pusės. Atsiradus automobiliams ir jų lengviems, bet galingiems varikliams, mintis lakioti ore aparatais, sunkesniais už orą, vadinamomis dinaminėmis lakiojimo mašinomis, buvo realizuota. Realizavimas buvo palengvintas ir statomosios medžiagos technologijos išsivystimu, kuri patiekė aviatoriams lengvos, bet stiprios medžiagos plokštėms, lygiai kaip metalą aluminijų ir jo lydinius.

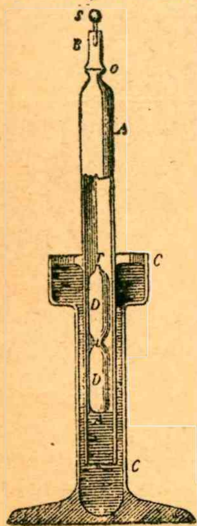
Čia ne vieta kalbėti apie tai, kaip kontroluoti tokio aparato ore judėjimas, mainant plokštes arba plokščių paviršių kreivumą, veikiant vairu ir t. t. Taip pat čia ne vieta kalbėti apie pašalines sroves, kurios susidaro skriejant aeroplanui ore ir kurios turi įtakos spaudimui, lygiai kaip ir kampui, kuriuo plokštė slenka ore. Tai yra viena iš sunkiausių hidrodinamikos problemų, iki šiandien dar galutinai neišspręstu. Kuriems įdomu, galima patarti pasiknisti specialiniuose veikaluose. Čia dar tik pabrėšime, kad augščiau išdėstyti dėsniai jėgų, veikiančių plokštei slenkant ore arba oro srovei veikiant plokštę, arba pagaliau, kada mes turime ir plokštės ir oro judėjimą, gali būti pritaikinti ir tuo atveju, kada turime reikalo su kietų plokščių slinkimu skysčiuose.

22 §. Dujų tekėjimas pro skylę ir difuzija.

Turint uždarame inde bet kurias dujas, slegiamas spaudimo p, ir pradūrus tame inde skylę, dujos tekės pro tą skylę srovės pavidalu. Tekėjimo greitumui v mes turime tą patį reiškinį, kaip skystimo greitumui, ištekančio iš indo pro skylę, būtent, $v = \sqrt{\frac{2p}{d}}$, jeigu mes pažymėsime dujų tankumą raide d (prie šitos lygties prieiname visiškai tuo pačiu būdu, kaip skysčiams, taigi patariame atskleisti pirmą hidrokinetikos lapą). Taigi išeina, kad ištekančios pro skylę dujų srovės greitumas yra tiesioginai proporcingas kvadratinei šakniai iš spaudimo ir atvirkščiai proporcingas kvadratinei šakniai iš dujų tankumo, arba lyginamojo svorio.

Remiantis šituo dėsniu Bunsenas pasiūlė sąmojingą metodą dujų tankumams nustatyti. Pažymėsime oro tankumą (dujų lyginamieji svoriai dažniausiai nustatomi oro atžvilgiu) raide d_0 ir vandenilio tankumą raide d_h. Esant tam pačiam spaudimui p oro ir vandenilio, ir leidžiant ištekėti pro tokią pat skylę vienodiems tų dviejų dujų tūriams, mes jų greitumams turėsime reiškinius: v_0 (oro greitumas) $= \sqrt{\frac{2p}{d_0}}$ ir v_h (vandenilio greitumas) $= \sqrt{\frac{2p}{d_h}}$. Iš čia išeina, kad $\frac{v_h}{v_0} = \sqrt{\frac{d_0}{d_h}}$ arba $\frac{v_h{}^2}{v_0{}^2} = \frac{d_0}{d_h}$. Vadinasi, ištekėjimo greitumai atvirkščiai proporcingi kvadratinėms šaknims iš dujų tankumų (arba kvadratinėms šaknims iš dujų lyginamųjų svorių). Kadangi greitumai atvirkščiai proporcingi laikams, tad išeina, kad ištekėjimo laikai tiesioginai proporcingi kvadratinėms šaknims iš tankumų arba ištekėjimo laikų kvadratai santykiuoja taip, kaip tankumai (pažymėję tam tikro tūrio oro ištekėjimo laiką raide t_0 ir tokio pat tūrio vandenilio raide t_h, mes turėsime $\frac{t_0}{t_h} = \sqrt{\frac{d_0}{d_h}}$ arba $\frac{t^2{}_0}{t^2{}_h} = \frac{d_0}{d_h}$). 88 piešinys atvaizduoja Bunseno aparatą dujų tankumams arba lyginamiesiems svoriams nustatyti ištekėjimo keliu. Jis susideda iš stipraus stiklinio cilinderio CC, kuris pripilamas gyvojo sidabro. Į gyvąjį sidabrą gramzdinamas kitas stiklo cilinderis AA, kurio vienas galas visiškai atdaras, o kitas galas turi mažą skylę, užkimštą štepseliu s (šita skylė randasi platinos plokštelėje, įlydytoje į cilinderio A kaklo vietą o). Be to, dar į cilinderį AA įdedama plūdė DD lengvo stiklinio kūno pavidalo, susiaurinto per vidurį. Cilinderis AA gramzdinamas gyvajam sidabre, pakol augščiau gyvojo sidabro paviršiaus išoriniame inde CC pasirodys viršūnė r plūdės DD. Pasiekus tokį stovį štepselis s ištraukiamas, ir tada oras, varomas gyvojo sidabro stulpo CA spaudimo, ima tekėti laukan. Su mušančia sekundine švytuokle arba metronomu nustatomas tiksliai laikas, reikalingas tam, kad plūdės DD susiaurinta vieta t pakiltų iki gyvojo sidabro paviršiaus išoriniame inde CC, vadinasi, nustatomas laikas, reikalingas tam tikram oro tūriui ištekėti. Išėmus cilinderį AA' pripylus jį gyvojo sidabro, uždengus galą A stiklu ir apvertus tuo galu žemyn, jis

įleidžiamas į vonią su gyvuoju sidabru. Dabar jis galima prileisti kitų dujų, pavyzdžiui, vandenilio. Padarę tai, mes gramzdiname jį gyvajam sidabre cilindery CC, pakol plūdės DD viršūnė r pasirodys truputį augščiau gyvojo sidabro paviršiaus inde CC, atidarome skylę O ir nustatome ištekėjimo laiką tokio pat tūrio vandenilio, kaip oro tūrio. Tegu tuo būdu nustatyta, kad tam tikro tūrio vandenilio ištekėjimo laikas yra lygus 5,3 sekundų, o tokio pat tūrio oro ištekėjimo laikas, būnant tam pačiam spaudimui, lygus 20 sekundų. Tad priimant oro lyginamąjį svorį per vienetą, vandenilio lyginamasai svoris oro atžvilgiu bus išreikštas skaičiumi $\frac{5{,}3^2}{20^2} = 0{,}07$. Vadinasi, jo tankumas, arba vieno kūbinio centimetro masė, bus $0{,}001293 \times \times 0{,}07 = 0{,}00009$ gramų.



Pieš. 88

Šiandien chemijoj ir fizikoj lyginamieji dujų svoriai išreiškiami dažniausiai iš atžvilgo į vandenilį, nes vandenilis yra už visas dujas (ir net už visus kūnus) lengvesnis. Be to, taip darant prieinama prie ypatingai paprastų skaičių, būtent prie fakto, kad molekulinis chemijos junginio svoris yra to junginio garų dusyk paimtas lyginamasai svoris vandenilio atžvilgiu (Avogadro taisyklė). Bet apie tai mums teks kalbėti daugiau ir smulkiau šilimos skyriuje.

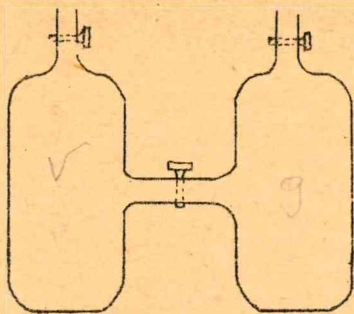
Palikus atdarame inde bet kurias sunkias dujas, pavyzdžiui, anglies rūgštį, dujų dalelės dėliai savo judingumo išspruks iš indo slinkdamos prieš svorio jėgą į orą, oro gi dalelės, nors ir būdamos lengvesnės už anglies rūgštį, pateks į indą, taip kad per kurį laiką dujų mišinys inde ir erdvės dalyje, kurioje randasi indas, pasidarys vienodas. Vadinasi, dviejų rūšių dujos savaime sumiš. Šitas procesas fizikoje vadinasi difuzija, ir kalbant apie dujų difuziją tenka atkartoti tai, kas jau pasakyta apie skysčių (sklystinių) difuziją paskutinėj skysčių skyriaus skilty, tas tik skirtumas, kad dujų difuzija vyksta žymiai greičiau kaip skysčių difuzija, dėliai žymiai didesnio dujų dalelių judingumo.

Tai pat paėmę du cilinderius bet kokio tūrio, pripylę vieną iš jų, sakysime, vandenilio, o kitą—anglies rūgšties, ir sudėję tuos cilinderius angomis, taip kad cilinderis su vandeniliu rastųsi augščiau, o su anglies rūgštimi žemiau, mes per kurį laiką konstatuosime, kad dujų mišinys abiejuose cilinderiuose bus tas pats, lygiai kaip ir spaudimas. Vadinasi, anglies rūgšties molekulos veržiasi prieš svorio jėgą į cilinderį su vandeniliu, o vandenilio molekulos, nepaisant jų lengvumo, veržiasi į cilinderį su anglies rūgštimi, ir tas procesas tęsiasi tol, kol dujų sudėtis abiejuose cilinderiuose pasidarys ta pati, kol, vienu žodžiu, susidarys homogeninis dujų mišinys. Dalykas tas, kad pripylę du cilinderius: vieną vandenilio ir kitą anglies rūgšties ir sudėję juos angomis, mes iš pradžios turime vienam inde vandenilį, sakysime, tam tikro spaudimo p_1, ir anglies rūgštį, sakysime, spaudimo p_2. Kadangi vandenilio spaudimas anglies rūgšties inde yra lygus 0, tai vandeniliui susidaro spaudimo puolimas kryptimi augštojo cilinderio žemojo link. Tas spaudimo puolimas ir yra ta jėga, kuri varo vandenilio molekulas iš augštesnio cilinderio į žemesnį, jeigu abstraguoti nuo chemijos jėgų, kurios gali dar veikti tarp įvairios rūšies dujų molekulų ir kurios gali žymiai pagreitinti difuzijos procesą. Aišku, kad vandenilio molekulos skverbsis į žemesnįjį indą, pakol tas spaudimo puolimas joms pasidarys lygus nuliui, vadinasi, pakol vandenilio spaudimas abiejuose induose pasidarys toks pat. Pažymėsime augštesniojo cilinderio tūrį v_1, o žemesniojo v_2. Pritaikius prie vandenilio šiuo atveju Boyle-Mariotto dėsnį ir pažymėjus galutiną vandenilio spaudimą, užpildžius jam vienodai abudu indus raide p', mes turėsime $p_1 v_1 = p'(v_1 + v_2)$. Iš čia $p' = \frac{p_1 \, v_1}{v_1 + v_2}$.

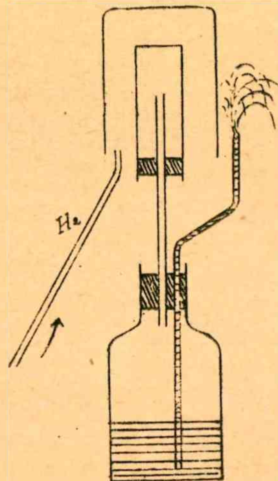
Tas pats reikia atkartoti ir kalbant apie anglies rūgštį. Kadangi anglies rūgšties spaudimas viršutiniame inde yra lygus 0, tai ir anglies rūgšties dalelėms susidaro varomoji jėga, lygi spaudimo puolimui, kuri ir varo tas daleles augštyn į viršutinį cilinderį, pakol anglies rūgšties spaudimas pasidarys toks pat abiejuose induose.

Pažymėsime tą galutiną anglies rūgšties spaudimą raide p", tad ir anglies rūgščiai mes turėsime $p_2 \; v_2 = p" (v_1 + v_2)$, arba $p" = \frac{p_2 \; v_2}{v_1 + v_2}$. Aišku, kad galutinas susidarusio tuo būdu dujų mišinio spaudimas bus $p' + p"$. Spaudimai p',p" vadinasi parcialiniais spaudimais, ir bet kurių dujų mišinio spaudimas visuomet yra lygus atskirų parcialinių spaudimų sumai. Jeigu mes būtume paėmę du vienodo tūrio indus ir pripildę juos: vieną vandenilio, o kitą anglies rūgšties to paties spaudimo p, tad jiems susimaišius difuzijos keliu, viso mišinio spaudimas būtų p, o parcialinis spaudimas vandenilio ir anglies rūgšties būtų $\frac{p}{2}$, kaip tai aišku iš viršuj paduotų lygčių. Taigi sutraukiant visa tai, kas čia pasakyta, mes prieiname prie išvados, kad bet kokios rūšies dujos veržiasi iš vieno indo į kitą (iš vienos erdvės dalies į kitą) visiškai neatsižvelgdamos į tai, ar tam kitam inde yra tuštuma, ar jau ten randasi kitos kokios dujos, sekdamos tiktai savo spaudimo puolimą, pakol jų parcialinis spaudimas per visą abiejų indų tūrį pasidarys tas pats, taip kad mišinio spaudimas bus lygus parcialinių spaudimų sumai. Šitas faktas žinomas fizikoje kaipo Daltono dėsnis. Visas skirtingumas veržimosi dujų į tuštumą arba į indą, užimtą jau kitos rūšies dujomis, reiškiasi tik tuo, kad pirmu atveju difuzijos procesas yra greitesnis kaip antru atveju ir, vadinasi, tas procesas pasibaigia greičiau kaip antru atveju, nes tuo antru atveju molekulos, verždamosi į indą, kuriame jau randasi kitos molekulos, del susidūrimo su tomis kitomis molekulomis, yra trukdomos apimti erdvės dalį, užimtą kitomis molekulomis.

Paimsime du indus (89 pieš.), sujungsime juos vamzdžiu su bėgtuvu, kuriame randasi siauras kanalas, taip kad pasukę bėgtuvą jo kanalu išilgai vamzdžio, mes



Pieš. 89



Pieš. 90

nustatysime komunikaciją tarp abiejų indų, o pasukus bėgtuvą jo kanalu skersai vamzdžio, atskirsime vieno indo tūrį nuo kito. Atskyrę indų tūrius, pripylę vieną indą vėl, sakysime, vandenilio o kitą anglies rūgšties, ir sujungę indų tūrius, pasukę bėgtuvą taip, kad susiekdintum abu indus, mes turėsime čia tekėjimą pro skylę vandenilio iš vieno indo į kitą, o anglies rūgšties priešinga linkme, ir toksai tekėjimas tęsis patol, pakol parcialinis spaudimas vandenilio pasidarys tas pats abiejuose induose, lygiai kaip ir parcialinis anglies rūgšties spaudimas, būnant visam mišinio spaudimui lygiam tų parcialinių spaudimų sumai. Suderinę tai, kas čia pasakyta apie difuzijos greitumą, su dujų tekėjimo pro skylę dėsniu, mes konstatuosime, kad difuzijos greitumas per siaurą kanalą bus tiesioginai proporcingas kvadratinei šakniai iš spaudimo puolimo ir atvirkščiai proporcingas kvadratinei šakniai iš dujų tankumo. Esant anglies rūgšties ir vandenilio tam pačiam spaudimo puolimui, vande-

nilio difuzija bus $\sqrt{22} = 4,7$ sykių greitesnė negu anglies rūgšties, nes anglies rūgšties tankumas yra 22 sykius didesnis, kaip vandenilio tankumas. Jeigu mes į vamzdį, jungiantį abu indus, vietoj bėgtuvo su siauru kanalu įdėsime pertvarą, arba diafragmą, iš akytos medžiagos, pavyzdžiui, plokštelę iš silpnai apdeginto kaolino, tai šita diafragma dujų difuzijos nesulaikys, ir difuzija vyks, eidama jau nustatytais dėsniais, nes čia mes turėsime, taip sakant, tekėjimą dujų per daugybę siaurų kanalų, kuriais bus akytos medžiagos akytės, abstraguojant, žinoma, ir čia nuo galimo chemiško veikimo tarp dujų molekulų ir diafragmos medžiagos.

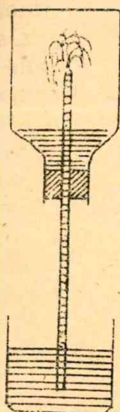
Kad dujų difuzijos greitumas pareina nuo jų tankumo, ir, pavyzdžiui, vandenilio yra gangreit 4 sykius didesnis kaip oro, galima ryškiai demonstruoti pagalba aparato, kurį atvaizduoja 90 piešinys. Mes čia turime stiklo bonką, užkimštą kaučiuko kamščiu su dviem skylėm. Bonka iki pusės arba ir net kiek augščiau pripilta vandens, paliekant viršuj vandens orą. Pro didesnę kamščio skylę įkištas stiklo vamzdžio galas, kurio kitas galas eina pro kaučiuko kamštį, kuriuo užkimštas cilinderis, iš silpnai apdeginto kaolino, kokie vartojami galvaniniams elementams. Pro kitą bonkos kamščio skylę įleistas į vandenį stiklinis vamzdis, kurio viršutinis galas atlenktas kiek į šalį. Užmovę ant akyto cilinderio didoką stiklinę ir leisdami iš apačios į tą stiklinę vandenilį, mes tuoj pastebėsime, kad vanduo ima kilti augštyn stikliniam vamzdy ir net mušti fontanu iš to vamzdžio viršutinės angos. Dalykas tas, kad per akyto cilinderio akytes vandenilis difunduoja į akytą cilinderį ir iš jo į orą bonkoje 4 sykius greičiau, negu oras, išspaudžiamas vandenilio iš bonkos į cilinderį per to paties cilinderio akytes laukan. Tuo būdu bonkoje viršuj vandens paviršiaus susidaro didesnis spaudimas kaip išorinis atmosferos spaudimas, ir vanduo iš bonkos muša augštyn fontanu. Nustoję gi leisti vandenilį į stiklinę, užmautą ant akyto cilinderio, mes pastebėsime, kad per stiklo vamzdį veržiasi į bonką oras ir burbulais per vandenį kįla augštyn. Dabar vandenilis iš bonkos ir iš akyto cilinderio per jo akytes difunduoja daug greičiau laukan, kaip oras į vidų, ir tuo būdu dujų spaudimas viršuj vandens paviršiaus bonkoje darosi žymiai mažesnis, kaip išorinis atmosferos spaudimas ir, kaipo išdavą, mes matome oro burbulus, kurie veržiasi per vandenį į bonkos oru užimtąją dalį.

23 §. Dujų absorpcija ir adsorpcija.

Kada bet kurios dujos randasi kontakte su skystimu, pavyzdžiui, su vandeniu, tai jos veržiasi į vandenį taip, kaip į indą, užimtą kitomis dujomis, tik jau žymiai mažesniu greitumu del priežasties žymiai mažesnių tarpų tarp vandens molekulų, kaip tarp bet kurių kitų dujų molekulų. Šitas procesas fizikoje vadinamas dujų absorpcija, ir absorpcija patol nesiskiria nuo difuzijos, pakol tarp vandens arba šiaipjau skysčio molekulų ir dujų molekulų neveikia chemijos jėgos. Pakol to nėra, absorpcija, kaip ir difuzija, pareina tik nuo paimtų dujų spaudimo ir nuo skysčio medžiagos. Jeigu kontakte su vandeniu arba šiaipjau skysčiu randasi dujų mišinys, tad atskirų dujų absorpcija pareina ne nuo viso mišinio spaudimo, bet tik nuo parcialinio tų dujų spaudimo. Šitas faktas žinomas fizikoje kaipo Daltono dėsnis.

Absorpcijos koeficientu vadinasi dujų tūris, kurį suryja vienas vandens arba šiaipjau skysčio tūris, nepareinant nuo spaudimo. Tas dydis yra charakteringas kaip dujoms, taip ir skysčiams, nes kiekvienai dujų rūšiai ir kiekvienam skystimui veikia tam tikras absorpcijos koeficientas, kuris gali pasiekti didelės reikšmės, kada tarp dujų ir skystimo molekulų ima veikti chemijos jėgos. Pavyzdžiui, vienas vandens tūris, sakysime, 1 kūb. cm. absorbuoja, esant 15^0 C temperatūrai, $\frac{1}{29}$ kūb. cm. deguonies, $\frac{1}{59}$ kūb. cm. azoto, 1 kūb. cm. anglies rūgšties, 3 kūb. cm. sieros vandenilio, 47,3 kūb. cm. sieros dvideginio, 458 kūb. cm. chloro vandenilio ir 802 kūb. cm. amoniako. Tai ir bus pažymėtų dujų absorpcijos koeficientai vandeniui. Kitiems skystimams, pavyzdžiui, spiritui, tie koeficientai bus kiti.

Iš paduotų čia skaičių matyti, kad absorpcijos koeficientas įvairioms dujoms svyruoja plačiose ribose. Taip vienas tūris vandens absorbuoja tik $\frac{1}{29}$ savo tūrio deguonies, būnant 15° C temperatūrai, ir 802 tūrių amoniako. Taigi tarp vandens ir deguonies molekulų chemiškasai veikimas yra labai silpnas, o tarp vandens ir amoniako molekulų chemiškasai veikimas yra jau gan žymus. Todel galima tvirtinti, kad stiprėjant chemiškam veikimui absorpcija žymiai didėja. Smarkią absorpciją amoniako vandeniu galima ryškiai demonstruoti paėmus didesnį butelį, pripildžius jį amoniaku ir užkišus kaučiuko kamščiu, per kurį į butelį įleistas stiklo vamzdis atdaruoju galu, kitas gi to vamzdžio galas šiek tiek ištemptas ir užlietas. Paėmus indą su vandeniu, tamsiai raudonai nudažytu lakmuso tinktūra, apvertus butelį kaklu žemyn (žiūr. 90 pieš.) ir įleidus į vandenį užlietą vamzdžio galą, tas galas replėmis nulaužiamas. Tada vanduo iš indo veržiasi smarkiu fontanu į butelį ir pagaliau užpildo butelį mėlynu skystimu, nes amoniakas, kaipo šarmas, nudažo lakmuso tinktūra mėlynai. Taigi šitas tyrimas aiškiai rodo, kad tarp vandens ir amoniako molekulų veikia gan žymios traukos jėgos, panašios į chemijos jėgas.


Pieš. 91

Be to, absorpcijos koeficientas žymiai pareina nuo temperatūros, būtent, kįlant temperatūrai absorpcijos koeficientas žymiai mažėja. Pavyzdžiui, kai esti nulio laipsnio temperatūra, vienas vandens tūris absorbuoja 1,7 tūrių anglies rūgšties, kai esti 15° temperatūra — 1 tūrį, kai esti 20° temperatūra — 0,9 tūrių ir t. t. Taigi šildant vandenį iš jo galima išvaryti visos absorbuotos dujos. Taip pat ir šildant kitus skystimus, išskyrus tik tokius atsitikimus, kada tarp dujų ir skystimo molekulų veikia jau gan žymios chemijos jėgos. Tada vienu šildymu negalima išvaryti visų absorbuotų dujų. Pagaliau reikia turėti omeny, kad absorpcijos koeficientas, pareina ne tik nuo dujų prigimties, bet ir nuo skysčio prigimties. Taip spiritas, 15° temperatūrai būnant, absorbuoja 3,2 anglies rūgšties tūrių, vadinasi, tų dujų absorpcijos koeficientas spiritui yra daugiau kaip 3 sykius didesnis negu vandeniui.

Gangreit visi metalai skystame stovyje absorbuoja silpniau ar smarkiau dujas, ypač smarkiai absorbuoja dujas sidabras skystame stovyje, ketus (spyžius) ir aplamai visos geležies rūšys. Tiktai skystiems metalams vėstant (auštant) ir jiems kietėjant, didžioji absorbuotų dujų dalis išsiveržia laukan, dažnai labai trukšmingai, taip kad darosi įspūdis vulkano erupcijos miniatiūroje. Vadinasi, skysti metalai elgiasi kitaip negu vanduo ir kiti skysčiai, nes absorbuoja dujas, būnant augštoms temperatūroms, ir paliuosuoja jas, būnant žemesnėms temperatūroms. Visus absorbcijos reiškinius, kada jie nėra chemijos jėgų įtakoje, kitaip sakant, kada absorpcijos koeficientai yra maži, galima apimti šiais dviem dėsniais: 1) paimtame skystimo tūryje, arba kiekyje, absorbuotas dujų tūris, nekintant temperatūrai, pareina nuo tų dujų ir skystimo prigimties ir nepareina nuo išorinio spaudimo (Henry dėsnis); 2) esant dujų mišiniams kontakte su skystimu, kiekvienos rūšies dujų absorpcija pareina tik nuo tų dujų parcialinio spaudimo ir yra proporcinga tam parcialiniam spaudimui (Daltono dėsnis). Turėdami, pavyzdžiui, uždarytame inde anglies rūgštį kontakte su vandeniu 15° temperatūros, ir jėgos siurblio pagalba varydami bet kurias kitas dujas į indo dalį, užimtą anglies rūgštimi, mes galime žymiai padidinti dujų mišinio spaudimą į vandenį, bet mes visiškai nepadidinsime absorbuoto anglies rūgšties kiekio. Ar tas išorinis spaudimas bus didelis ar mažas, absorbuotas anglies rūgšties kiekis, nesimainant temperatūrai, bus proporcingas tik anglies rūgšties parcialiniam spaudimui, vadinasi, bus toks pat, kaip ir tada, kada kontakte su vandeniu randasi tik anglies rūgštis (Daltono dėsnis). Bet jeigu mes varysime jėgos siurblio pagalba į indą daugiau ir daugiau anglies rūgšties, tai, einant Boyle-Mariotto dėsniu, mes didinsime tų dujų spaudimą ir, proporcingai tam spaudimui, didinsime absorbuotą vandeniu anglies rūgšties kiekį, nesimainant temperatūrai (Henry dėsnis). Pavyzdžiui, 15°

temperatūrai esant, 1 tūris vandens absorbuoja 1 tūrį anglies rūgšties, kuris atatinka tam tikram anglies rūgšties kiekiui. Pakėlus anglies rūgšties spaudimą, būnant tai pačiai temperatūrai, 2 syk, tas pats vandens tūris absorbuos 2 syk didesnį anglies rūgšties kiekį, nes, einant Boyle-Mariotto dėsniu, dujų tankumas arba koncentracija vandeny yra tiesioginai proporcinga tų dujų spaudimui.

Išeinant iš tų dviejų dėsnių suprantamas ir tas faktas, kad vanduo absorbuoja deguonį ir vandenilį iš atmosferos ne tais tūrio santykiais, kuriais jie randasi atmosferoje. Ore 21 tūriui deguonies išeina 79 tūriai azoto, tuo tarpu vandeny 35 tūriams deguonies išeina 65 tūriai azoto (čia kalbama apie deguonį, absorbuotą vandens iš oro, o ne apie deguonį, kuris sudaro tam tikrą vandens molekulos sudėtinę dalį). Vadinasi, oras, absorbuotas vandens, yra turtingesnis deguonimi negu atmosferos oras. Taip ir turi būti, nes deguonies absorpcijos koeficientas vandeniui yra gangreit dusyk didesnis negu azoto absorpcijos koeficientas. Šitas faktas turi didelės reikšmės tiems gyviems sutvėrimams, kurie gyvena vandeny ir kurie kvėpuoja pažiaunėmis.

Pagaliau ir visi kieti kūnai, ypač ant savo paviršiaus, absorbuoja ir kondensuoja dujas (tas procesas vadinasi adsorpcija) dažnai taip smarkiai, jog reikalinga ilgai kaitinti kietas kūnas norint paliuosuoti jo paviršių nuo kondensuotų dujų. Tai aiškiai matyti šildant vandenį stiklo inde, nes oro burbulai veržiasi ne tik iš vandens, bet ir iš indo dugno ir šonų paviršiaus. Kai kuriems tyrimams reikia turėti stiklo indus, paliuosuotus nuo kondensuoto oro. Norint tai pasiekti tenka dažnai ilgai virinti tokiam inde šarmus, išplovus juos prieš tai spiritu, gerai įkaitintais kalnų milteliais (tripeliu) arba gerai įkaitintais anglies milteliais. Kai kuriais atsitikimais ta adsorpcija yra labai smarki, pavyzdžiui: vienas tūris brangaus metalo paladiumo adsorbuoja 1000 tūrių vandenilio, ypač jeigu tas metalas buvo neigiamu elektrodu leidžiant elektros srovę per sieros rūgšties tirpinį. Taip pat metalas platina, lygiai kaip ir kiti platinos šeimos metalai, adsorbuoja žymius kiekius deguonies, vandenilio ir kitų dujų. Ištirpinta geležis adsorbuoja daug anglies deginio ir, pasiekus kietą stovį, nebepaleidžia tų dujų. Tokiais atvejais mes kalbame apie dujų okliuziją metalais. Pagaliau visi akyti kūnai žymiai adsorbuoja dujas, ypač beržo arba uosio anglis, kurios vienas tūris gali, pavyzdžiui, suryti 35 tūrius anglies rūgšties, būnant paprastai temperatūrai, ir net 90 tūrių amoniako. Šita anglies savybe labai dažnai naudojamasi paprastam gyvenime ir technikoje, kada norima atskirti nuo oro nuodingas dujas (išvalyti oras), pav., amoniakas, sieros vandenilis ir t. t.

Visi šitie reiškiniai, be abejo, pareina nuo kietų kūnų paviršiaus įtempimo, ir į adsorpcijos ir okliuzijos procesą galime žiūrėti, kaipo į tirpimą dujų kietuose kūnuose, bet šitie procesai paviršiaus įtempimo jėgų atžvilgiu yra dar labai mažai ištirti.

Pagaliau adsorpcija, o ypač okliuzija dujų kietais kūnais, visuomet yra surišta su šilimos pasiliuosavimu ir, vadinasi, su temperatūros pakilimu, nelyginant kaip dujas smarkiai spaudžiant. Taigi suprantama, kad labai dažnai, pavyzdžiui, anglies milteliai savaime užsidega parako dirbtuvėse del smarkios deguonies okliuzijos ir kaipo išdava temperatūros pakilimo iki užsidegimo temperatūrai. Taip pat platina, ypač jeigu ji esti teigiamu elektrodu, varant elektros srovę per sieros rūgšties tirpinį, arba jeigu ji yra kempinės pavidalo (vadinamoji platinos kempinė arba smarkiai akyta platina), okluduoja labai daug deguonies, ir jeigu ant tokios platinos užleisti vandenilio srovę, tai vandenilis užsidega, nes tokia platina okluduoja ir vandenilį, ir taip smarkiai, jog vandenilio temperatūra pasikelia iki užsidegimo temperatūrai. — Visiems žinoma Debereinerio platinos mašinėlė gauti ugniai vietoj degtukų, kuri remiasi vandenilio okluzija ir užsidegimu. Pagaliau vaistinės parduoda kaipo vaistą geležį, labai smulkių miltelių pavidalu, uždarytose (užlietose) tūtose. Jeigu tokią tutą atidaryti ir berti miltelius iš jos, tai tie milteliai savaime užsidega ore, kaipo išdava stiprios deguonies okluzijos geležimi. Todel tokia geležis ir vadinasi «Piroforinė geležis».

24 §. Kinetinė dujų teorija.

Ypatingas paprastumas santykių ir dėsnių, su kuriais mes susiduriame nagrinėdami dujų savybes, nuo seniausių laikų verste vertė filosofus ir tyrinėtojus ieškoti tokio dinaminio modelio, kurio pagalba galima būtų išaiškinti visas dujų savybes, visą jų, taip sakant, elgesį išeinant iš pagrindinių dinamikos dėsnių, kuriuos seka materialinių dalelių judėjimai. Visos tos pastangos praeito šimtmečio vidury privedė prie vadinamosios «kinetinės dujų teorijos» (nuo graikų žodžio «κίνησις», tai reiškia—judėjimas), kuri šiandien yra viena iš labiausiai pamatuotų fizikos teorijų. Daug tyrinėtojų prisidėjo tą teoriją išdirbant, bet galutiną matematinę formą suteikė jai anglas Clerk Maxwell ir vokiečiai Clausius ir Boltzmann.

Šita teorija išeina iš dviejų postulatų: 1) visos dujos savo struktūra yra panašios ta prasme, kad jos sudarytos iš atskirų dalelių, tarp kurių tarpai yra daug sykių didesni negu tų dalelių skersmens (diametrai); 2) visų dujų dalelės randasi intensyvaus judėjimo padėty tiesiomis linijomis, bet įvairių įvairiausiomis linkmėmis.

Kai tuo, kad dujos, lygiai kaip skysti ir kieti kūnai, susideda iš atskirų dalelių (molekulų) su, palyginti, dideliais tarpais tarp jų, tai netenka abejoti, turint omeny kietų kūnų akytumą ir skystų ir dujiškų kūnų homogeninius mišinius. Jeigu mes tų tarpų nematome ne tik paprastomis akimis, bet ir padidinamųjų stiklų pagalba, tai tik todel, kad atstumai tarp molekulų yra labai maži, palyginti, su tuo atstumu, kuriuo mes galime matyti. Mes, taip sakant, žiūrime į molekulų krūvą perdaug iš tolo, nelyginant kaip iš tolo žiūrėdami į mišką mes matome tik miško tolydinę sieną, negalėdami atskirti vieno medžio nuo kito. Be to, už tokią netolydinę, diskretinę fizinių kūnų struktūrą kalba pagrindiniai chemijos dėsniai, pavyzdžiui, kartotinių santykių dėsnis, kuris būtų visiškai nesuprantamas, priėmus tolydinę fizinių kūnų struktūrą.

Kai del molekulų judėjimo, tai už tai kalba žinomi mums difuzijos ir garavimo procesai, bendri kietiems, skystiems ir dujiškiems kūnams.

Jeigu tam tikras dujų kiekis, paliktas atdarame inde, per kurį laiką pasklinda po visą kambarį ir susimaišo su kambario oru, tai šitas faktas sunkiai būtų suprantamas, jeigu mes atmestumėm dujų dalelių, arba molekulų, judingumo hipotezą.

Iš viso žinomo mums dujų elgesio išeina, kad dujų kohezijos jėgos yra silpnos, o atsistūmimo jėgos gana smarkios. Šitas atsistūmimo jėgas galima užvis lengviau suprasti kaipo judančių molekulų susidūrimo išdavą, priimant, kad molekulų susidūrimas seka elastingus kūnų susidūrimo dėsnius. Ar molekuloms susidūrus jos randasi tiesioginiame kontakte, ar tik prisiartina viena prie kitos taip, kad atstumas tarp jų centrų darosi minimumas, nuo kurio pradeda veikti atsistūmimo jėgos, tarytum sukoncentruotos melekulų centruose, elastingumo susidūrimo dėsnio tai visiškai neliečia. Susidūrę molekulos atšoka viena nuo kitos pasikeisdamos judėjimo momentais, sumai tų judėjimo momentų prieš ir po susidūrimo pasiliekant be atmainos ir, nustojus susidūrimo jėgoms veikti, slenka toliau, einant inercijos dėsniu, tiesiomis linijomis ir vienodu greitumu. Taigi turint tam tikrą kiekį dujų uždarytame inde, jos bus panašios į daugybę mažiausių šovinių, lakiojančių tiesiomis linijomis, bet įvairių įvairiausiomis kryptimis ir įvairių įvairiausiais greitumais. Taip lakiodamos molekulos susiduria ne tik savitarpy, bet ir su indo šonais, taip sakant, bombarduoja indo šonus, ir dujų spaudimas į indo šonus yra ne kas kita, kaip judėjimo momentas, suteiktas tuo bombardavimu indo šonams (kalbėdami apie indo šonus mes čia turime omeny ne tik indo šonus, bet ir jo dugną ir viršų). Žiūrint į tokį molekulų judingumą kaipo į esencialę dujų savybę, dujų išsiskleidimas (pasklidimas) erdvėje, jų tendencija užimti kuo didžiausį tūrį, jų spaudimas į indo šonus ir jų difuzija darosi ne tik pilnai suprantami, bet būtini reiškiniai.

Bet kinetinė hipoteza gali būtį pritaikinta ir skystiems ir kietiems kūnams, tų kūnų elgesiui suprasti. Kad skystų ir kietų kūnų molekulos irgi randasi judėjimo stovy, tai išeina iš visiems žinomų faktų: skystų kūnų garavimo ir kietų kūnų lakumo. Paliktas atdarame inde vanduo per kurį laiką išgaruos. Vadinasi, jo molekulos pa-

sklis po visą kambarį ir susimaišys su oru. Padėjus ant stalo kamporo arba kito kokio kvepalo gabalėlį, mes greit pajusime jo kvapą visam kambary. Vadinasi, kietų kvepalų dalelės atsiskiria nuo jų paviršiaus ir išsiskleidžia po visą kambarį. Per kurį laiką padėtas ant stalo kamporo arba kito kokio kvepalo gabalėlis visiškai išnyks, išgaruos, jo molekuloms susimaišius su oru. Visi kieti kūnai reiškia didesnį arba mažesnį lakumą, neišskiriant akmenų ir metalų. Skirtumas tik tas, kad vienų kietų kūnų tas «garavimas» vyksta, palyginti, labai greitai, kitų gi — labai palengva. Iš viso skystų ir kietų kūnų elgesio išeina, kad ir jiems reikia pripažinti dviejų rūšių jėgų veikimas. Traukos, arba kohezijos, jėgų iš vienos pusės ir atsistūmimo jėgų iš kitos pusės. Tas pastarąsias jėgas ir čia užvis lengviau suprasti, žiūrint į jas kaipo į molekulų susidūrimo išdavą (ir čia nesvarbu, ar tas susidūrimas veda prie tiesioginio molekulų kontakto, ar tik prie tam tikro minimum atstumo tarp molekulų centrų). Atmetant gi atsistūmimo jėgas, tie galingi pasipriešinimai, su kuriais tenka susidurti mažinant skystų ir kietų kūnų tūrius išoriniu spaudimu arba deformuojant kietus kūnus, būtų visiškai nesuprantamas dalykas. Skirtumas tarp dujiškų ir skystų kūnų užvis lengviau suprasti, išeinant iš mažesnio atstumo tarp skystų kūnų molekulų, nekaip tarp dujiškų kūnų molekulų, ir, vadinasi, žymiai didesnių kohezijos jėgų. Taigi susidūrus skysčio molekulai su kita molekula ji netoli nulėks, kai jau jai teks susidurti su trečia molekula ir t. t. Vadinasi, skysčio molekula dažniau grįš į savo pirmykščią padėtį kaip dujų molekula, taip kad skysčio molekulų judėjimas bus panašus į tūpčiojimą vietoj. Tarp kietų kūnų molekulų kohezijos jėgos yra galingos, palyginus su skysčių ir dujų kohezijos jėgomis, del priežasties bent dalinai dar mažesnio atstumo tarp kietų kūnų molekulų, kaip atstumas tarp skysčių molekulų. Todel kietų kūnų molekulos arba svyruoja nedidelėmis amplitūdomis apie tam tikras normalines kietas padėtis, arba atlieka periodinius judėjimus uždarytomis kreivomis linijomis apie kietą normalinę padėtį, kaipo apie centrą. Skystų ir kietų kūnų lakumas ir garavimas, jų susimaišymas ir difuzija, apie ką daug jau buvo kalbėta šitame skyriuje, osmozo apsireiškimai ir daug kitų skystų ir kietų kūnų savybių galima lengvai interpretuoti, išeinant iš nupiešto čia kinetinio vaizdo skysto ir kieto kūnų stovio. Bet reikia pasakyti, kad kinetinė skysto ir kieto fizinių kūnų stovio hypotezė toli gražu nėra taip tobūlai išvystyta, kaip kinetinė dujų teorija. Ypač kietų kūnų yra ir tokių savybių, kurios, tarytum, prieštarauja kinetinės hipotezės išvadoms.

Grįžtant prie kinetinės dujų teorijos duosime čia pirmiausia reiškinį duju spaudimo į indo šonus, kuriame jos randasi. Tegu molekula masės m, lėkdama greitumu c, susiduos į indo šoną tiesiu kampu. Žiūrint į šitą susidavimą kaip į elastingų kūnų susidavimą, susidavus molekula atšoks ta pačia linija, vadinas, lėks atgal greitumu c. Prieš susiduriant molekulos judėjimo momentas buvo mc, po susidūrimo tas momentas yra—mc. Vadinasi, judėjimo momento pasikeitimas bus $mc-(-mc) = 2\,mc$. Einant antruoju Newton'o dėsniu, tas judėjimo momento pasikeitimas yra lygus jėgai, kurią molekula pareiškia į indo šoną. Paimsime dabar tokį atsitikimą, kad molekula susiduoda su indo šonu ne stačiai, bet nuožulniai (žiūr. 92 pieš.). Masės m ir greitumo c molekula susiduoda į sieną arba ekraną AB taip, kad jos judėjimo linkmė CD sudaro kampą α su statmeniu ED į ekraną. Greitumas c galima išskaidyti į du greitumus: statmenai ekranui AB, vadinasi, išilgai linijos ED, ir išilgai ekrano AB. Pažymėsime greitumo komponentą statmenai ekrano AB raide c_1, o išilgai ekrano c_2. Kaip jau mes žinome iš elastingų kūnų susidūrimų, susidūrimui pasibaigus molekula lėks atgal tuo pačiu greitumu c (vadinasi, greitumu —c), taip kad to greitumo linkmė sudarys vėl kampą α su statmeniu ED. (Čia veikia žinomi jau mums atspindžio dėsniai, ir nauja greitumo c linkmė lengva surasti atidėjus nuo susidūrimo taško D į kairę pusę nuo ekrano greitumo komponentą c_1 ir žemyn nuo taško D greitumo komponentą c_2. Tų dviejų greitumų atstojamasai bus linija DF). Savaime aišku, kad greitumo komponenta c_2, veikianti išilgai ekrano, jokio judėjimo momento ekranui nesuteiks. Statmenai gi veikianti greitumo komponenta c_1 suteiks

ekranui judėjimo momentą 2 mc_1. Bet iš piešinio aišku, kad $c_1 = c \cos\alpha$, vadinasi, judėjimo momento atmaina, nuožulniai susidūrus, bus 2 mc $\cos\alpha$, kur α bus kampas tarp judėjimo linkmės ir statmens ekranu, kitaip sakant, puolimo kampas. Įsivaiz-

Pieš. 92

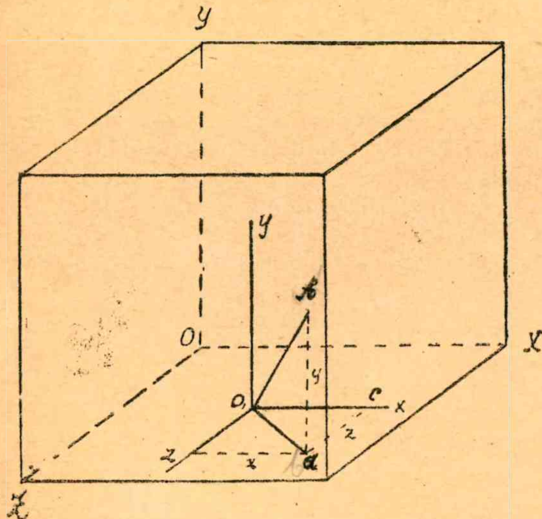
Pieš. 93

duokim dabar sau indą taisyklingo rutulio spindulio r pavidalu, kuriame randasi N bet kurių dujų molekulos (93 pieš.). Tos molekulos lakioja inde tiesiomis linijomis, bet įvairių įvairiausiomis kryptimis ir įvairių įvairiausiais greitumais. Pritaikinant prie šito chaotiško judėjimo tikrenybės teoriją, galima įrodyti, kad šitą chaotišką judėjimą įvairių įvairiausiais greitumais galima pakeisti judėjimu vidutinio greitumo c, nes tas greitumas visgi dažniausiai atsitiks turint omeny labai didelį molekulų skaičių inde. Norint apskaityti molekulų spaudimas į indo šonus, mes galime visiškai abstraguoti nuo molekulų susidūrimo savitarpy, nes, turėdamos vienodą masę, jos, susidūrę, apsimainys tik savo greitumais. Vadinasi, mums reikia kreipti domę tik į susidūrimą molekulų su indo šonais. Fiksuosime bet kurią molekulą, kuri slenka inde vidutiniu greitumu c linkme AD, kuri sudaro su diametru AB kampą α. Susidūrus su indu taške D ji atšoks linijos DB linkme, kuri sudaro kampa α su rutulio spinduliu CD, toliau ji atšoks linijos BE linkme, kuri sudaro irgi kampą α su spinduliu CB ir t. t. Apskaitysime dabar judėjimo momentą, kurį daužydamosi viršuj nurodytu būdu molekula suteikia rutulio šonams arba rutulio paviršiui per 1 sekundą. Kadangi molekulos puolimo kampas yra α, tai kaskart susidūrus su rutulio paviršiu molekula suteiks tam paviršiui judėjimo momentą 2 mccosd, einant nuožulnaus susidūrimo dėsniu. Kiek gi tokių susidūrimų bus per sekundą? Į šitą klausimą mes atsakysime suradę laikotarpį tarp dviejų susidūrimų molekulos su rutulio paviršium. Paimsime vieną iš daugybės laužtos linijos ADBE... atkarpų, kuriomis lakioja molekula daužydamasi į rutulio paviršių, pavyzdžiui, atkarpą AD. Kadangi molekula turi greitumą c, tad aišku, kad tarp dviejų susidūrimų molekulos su rutulio paviršium taškuose A ir D praeis $\frac{AD}{c}$ sekundų (tai bus labai maža sekundos dalis). Vadinasi, per vieną sekundą tokių susidūrimų bus $\frac{c}{AD}$. Iš 93 piešinio aišku, kad $AD = 2r \cos\alpha$. Taigi per vieną sekundą bus $\frac{c}{2r \cos\alpha}$ susidūrimų. Kadangi kiekvienu susidūrimu molekula suteikia rutulio paviršiui judėjimo momentą $2mc \cos\alpha$, tai per 1 sekundą vienos molekulos suteiktas momentas bus $2mc \cos\alpha . \frac{c}{2r\cos\alpha} = \frac{mc^2}{r}$, o visų molekulų, kurios randasi rutuly, suteiktas judėjimo momentas per 1 sekundą bus $\frac{N\ mc^2}{r}$.

Įdomu, kad suteiktas vienos molekulos rutulio šonams judėjimo kiekis išreiškiamas $\frac{mc^2}{r}$; tas reiškinys yra toks pat kaip iščentrinės jėgos masės m, slenkančios rutulio didžiuoju ratu greitumu c.

Spaudimu p mes vadiname judėjimo kiekį, suteiktą ploto vienetui, sakysime, 1 kvadratiniam centimetrui (spaudimas yra jėga, veikianti ploto vienetą). Rutulio paviršiaus plotas $4\pi r^2$. Vadinasi, spaudimas oro p į jo šonus lygus $\frac{Nmc^2}{r \cdot 4\pi r^2} = \frac{Nmc^2}{4\pi r^3}$. Rutulio tūris $^4/_3\pi r^3$. Taigi dujų spaudimas p yra lygus $\frac{Nmc^2}{3v}$, jeigu mes raide v pažymėsime indo tūrį.

Prie to paties spaudimo reiškinio mes prieisime paėmę indą kitos formos, pavyzdžiui, kūbą (žiūr. 94 pieš.). Tegu tame kūbe mes turime N bet kurių dujų molekulų ir tegu kūbo briauna yra s cm. Fiksuosime vieną kurią molekulą masės m tuo momentu, kada ji slenka greitumu c kryptimi O_1A. Išeidami iš vektorinių dydžių sudėties ir skaidymo taisyklių, mes galime vektorių c pakeisti 3-mis vektoriais išilgai arba lygiagrečiai trims kūbo briaunoms: OY, OX ir OZ, kitaip sakant, mes galime išskaidyti greitumą c į tris greitumus y, x, z lygiagreičiai pažymėtoms kūbo briaunoms. Kad tai atsiektume, iš taško O_1 mes pravedame liniją O_1Y_1, lygiagrečią OY, liniją O_1Z_1, lygiagrečią OZ, ir liniją O_1X_1, lygiagrečią OX. Iš taško A nuleidžiame statmenį į plokštį $X_1O_1Z_1$. Iš to statmens galo B vedame liniją BC, lygiagrečią Z_1O_1 ir, vadinasi, ZO ir liniją BD lygiagrečiai O_1X_1 ir, vadinasi, OX. Tuo būdu vietoj greitumo c mes gauname 3 greitumus: y (AB), z (BC) ir x (BD). Iš trikampio O_1BA su tiesiu kampu prie taško B mes turime: $c^2 = y^2 + O_1B^2$, o iš trikampio O_1CB su tiesiu kampu prie taško C mes turime: $O_1B^2 = z^2 + x^2$ Taigi $c^2 = x^2 + y^2 + z^2$ (pagrindinė lygtis iš analitinės geometrijos bet kuriam vektoriniam dydžiui pakeisti vektoriais-komponentomis lygiagrečiai tiesiakampės trimatės koordinatų sistemos 3 ašims).



Pieš. 94

Taigi užuot sekę mūsų molekulos judėjimą greitumu c bet kuria kryptimi, mes galime sekti jos judėjimą greitumais x y z lygiagrečiai 3 kūbo briaunoms, kurios sueina vienam taške. Paimsime iš pradžios judėjimą greitumu x, vadinasi, tarp dviejų kūbo plokščių, kairiosios ir dešiniosios, atokume s. Taigi nukeliauti nuo vienos plokštės iki kitai molekulai reiks $\frac{s}{x}$ sekundų, arba, kitaip sakant, per vieną sekundą molekula nukaks šitą kelią $\frac{x}{s}$ sykių, vadinasi, per 1 sekundą tiek sykių susiduos į vieną ir į kitą kūbo šoną, laikiodama tarp jų. Suteiktas kūbo šonams kiekvienu susidavimu judėjimo momentas bus 2 mx. Vadinasi, per sekundą suteiktas vienos molekulos judėjimo momentas dviems kūbo šonams bus $2mx. \frac{x}{s} = \frac{2mx^2}{s}$. Paimsime toliau tos pačios molekulos judėjimą greitumu y tarp kitų dviejų kūbo šonų: viršaus ir apačios. Atkartoję tokį pat samprotavimą, mes rasime, kad tiems dviem šonams suteiktas molekulos judėjimo kiekis per 1 sekundą bus $\frac{2my^2}{s}$. Pagaliau sekant molekulos judėjimą greitumu z tarp priešakinio ir užpakalinio kūbo šonų, suteiktas jos tiems šonams judėji-

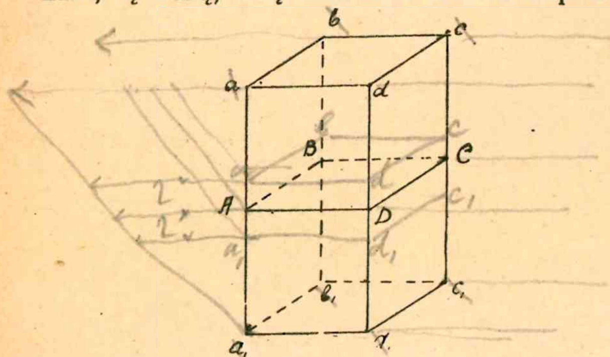
mo momentas per 1 sekundą bus $\frac{2mz^2}{s}$. Taigi tos molekulos visiems kūbo šonams suteiktas judėjimo momentas per sekundą bus $\frac{2mx^2}{s} + \frac{2my^2}{s} + \frac{2mz^2}{s} = \frac{2m}{s}(x^2+y^2+z^2) = \frac{2mc^2}{s}$ (nes anksčiau mes nustatėm santykį $c^2 = x^2 + y^2 + z^2$). Kadangi mūsų kūbe randasi N molekulų dujų, tad visų tų molekulų visiems kūbo šonams suteiktas judėjimo momentas per sekundą bus $\frac{2Nmc^2}{s}$ (ir čia, kaip ir anksčiau, mes vaduojamės vidutiniu molekulų greitumu c, kuris, einant tikrenybių teorija ir turint omeny be galo didelį molekulų skaičių, užvis dažniau atsikartoja, vadinasi, prievaluoja. Todel nuo įvairenybės greitumų galima abstraguoti pakeitus tų greitumų įvairių įvairiausias kryptis trimis kryptimis lygiagrečiai koordinatų ašims). Kadangi kūbo paviršiaus plotas yra $6s^2$, tai spaudimas $p = \frac{2Nmc^2}{s \cdot 6s^2} = \frac{2Nmc^2}{6s^3}$. Bet s^3 yra kūbo tūris, kurį pažymėsime raide v. Taigi pagalios $p = \frac{Nmc^2}{3v}$ — reiškinys toks pat, kaip rutuliui.

Prie tokios pat išvados mes prieisime paėmę bet kurios formos indą, nes to indo tūrį mes galime pakeisti dideliu skaičium rutulių arba kūbų ir atkartoti jiems viršuj išdėstytą samprotavimą.

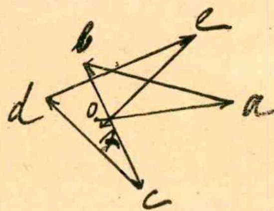
Iš spaudimo reiškinio išeina pirmiausia Boyle-Mariotto dėsnis, kaipo būtina išvada: $p . v = \frac{1}{3} Nmc^2$. Kadangi duotame tūryje molekulų skaičius N yra pastovus dydis, taip pat molekulos vidutinis greitumas c, jeigu tik nesimaino dujų temperatūra, tai ir išeina, kad sandauga iš spaudimo ir tūrio, temperatūrai nesimainant, dujoms yra pastovus dydis. Padauginę ir padalinę į 2 dešiniąją paskutinės lygties dalį, mes gausime tokį reiškinį sandaugai iš dujų spaudimo ir tūrio: $pv = {}^2/_3 \frac{Nmc^2}{2} = \frac{{}^2/_3 Mc^2}{2}$ (čionai raide M mes žymime visų dujų masę Nm duotame tūry). Vadinasi, sandauga iš dujų tūrio ir spaudimo yra ne kas kita, kaip $\frac{2}{3}$ visų dujų molekulų kinetinės energijos. Vėliau šilimos skyriuje mes pamatysime, kad esant temperatūrai pastoviai, šita kinetinė dujų energija irgi yra pastovus dydis. Mes žinome jau, kad tikrenybėje, ypač būnant dideliems išoriniams spaudimams, visos dujos mažiau ar daugiau apsilenkia su Boyle-Mariotto dėsniu. Dalykas tas, kad darant išvadą dujų spaudimui į indo šonus, mes tylomis, taip sakant, priėmėme, kad dujų molekulų diametrai yra be galo maži, palyginus su atokumais tarp jų arba, kitaip sakant, pačių molekulų užimtas tūris yra labai mažas palyginus su visu tūriu, kurį užima dujos. Mes, taip sakant, žiūrėjome į molekulas kaipo į materialinius taškus. Tikrenybėje gi tokio dalyko nėra; kiekviena molekula turi šiokį tokį diametrą, kuris nėra be galo mažas, ir todel Boyle-Mariotto dėsnio reiškinys reikalingas yra pataisų, prie kurių mes tuoj ir prieisime. Tačiau pirma pamėginsime apskaityti dujų molekulų greitumą c. Kadangi Nm, kaip jau pasakyta, yra dujų masė, o masė padalyta į tūrį yra tankumas d, tai mes turime $p = \frac{Nmc^2}{3v} = \frac{dc^2}{3}$. Vadinasi, jeigu mums žinomas dujų spaudimas p ir jų tankumas d, tai mes galima apskaityti jų molekulų greitumą c. Pavyzdžiui paimsime orą, esant 20^0 temperatūrai ir 760 mm. normaliniam spaudimui gyvojo sidabro stulpo. Toks stulpas sveria, kaip jau mes žinome, 1033 gramus, o kadangi kiekvienas gramas yra lygus 981 dinų jėgai, tai apskritai normalinis atmosferos spaudimas galima prilyginti 1.000.000 dinų. Iš kitos pusės paprasto oro tankumas, esant 20^0 temperatūrai, bus 0,0012 (masė gramais 1 kūb. cm.). Taigi mes turime $1.000.000 = \frac{0{,}0012}{3}. c^2$. Iš čia $c^2 = \frac{1000000.3}{0{,}0012} = 25.10^8$, arba $c = \sqrt{25.10^8} = 5.10^4$ cm. Taigi išeina, kad vidutinis oro molekulų greitumas yra 50.000 cm. per sekundą, arba 500 metrų per sekundą. Vadinasi, oro molekulos laksto greitumais, kurie yra panašūs į greitumus šovinių, kurie iššaunami iš šiandienių patrankų. Iš $p = \frac{dc^2}{3}$ ir $c = \sqrt{\frac{3p}{d}}$ aplamai išeina, kad įvairios rūšies dujų molekulų greitumai bus at-

virkščiai proporcingi kvadratinei šakniai iš jų tankumų. Vadinasi, vandenilio molekulų greitumas bus užvis didesnis.

Šitie dideli greitumai iš pradžios sudarė kai kurių fizikų tarpe griežtą nusistatymą prieš kinetinę dujų teoriją Tie fizikai tvirtino, kad dūmai turėtų akimirksnyje išsiskleisti, jeigu dujų molekulos turėtų tokius didelius greitumus. Taip pat jie laikė nepriimtinais tokius didelius greitumus, nurodydami į, palyginti, mažus dujų difuzijos greitumus. Bet paskui pasirodė, kad to prikišti negalima jeigu imti domėn labai didelį skaičių molekulų tūrio vienete ir, vadinasi, labai didelį skaičių susidūrimų molekulų viena su kita, kuris (susidūrimas) ir trukdo labai žymiai dujų molekulų slinkimą priekin (molekulų translacija). Dalykas tas, kad kiekvienos molekulos kelias yra labai paini zigzagų linija (žiūr. 95 pieš.), ir molekulai, vykstant tokį kelią, labai dažnai tenka grįžti atgal. Visa to priežastis yra susidūrimai su kitomis molekulomis. Taigi, kad geriau suprastume molekulos klaidžiojimą, pamėginsime apskaityti, sekdami Makswell'iu, vadinamojo «laisvo molekulos kelio» ilgį. Kitaip sakant, tą kelią, kurį molekula atlieka tarp dviejų susidūrimų su kitomis molekulomis.



Pieš. 96



Pieš. 95

Pažymėsime tą «laisvo kelio» ilgį raide l. Įsivaizduokim sau indą, stačiakampio paralelopipedo pavidalo (žiūr. 96 pieš.) su viršutine ir apatine bazėmis 1 kvadrat. cm. ploto. Tegu to paralelopipedo augštis bus 2 l cm. Ištieskime dar per vidurį šito paralelopipedo plokštį ABCD. Įsivaizduokim sau toliau, kad mes turime čia visą eilę molekulų sluogsniu, kurie slenka ta pačia kryptimi, sakysime, iš dešinės į kairę pusę, bet įvairiais greitumais: sluogsnis abcd turi didžiausį greitumą, sluogsnis $a_1\ b_1\ c_1\ d_1$ — mažiausį greitumą ir pagaliau ABCD — vidutinį greitumą. Tegu pagaliau greitumų skirtumas tarp dviejų sluogsnių, kurie randasi atstu vienas nuo kito per 1 cm., bus 1 cm. per sekundą. Tad greitumų skirtumas tarp viršutinio ir vidurinio sluogsnio iš vienos pusės ir tarp vidurinio ir apatinio iš kitos pusės bus lygus l cm., o greitumų skirtumas tarp viršutinio ir apatinio sluogsnio bus lygus 2l cm.. Molekuloms klaidžiojant, viršutinio sluogsnio molekulos kartkartėmis patenka į vidurinį sluogsnį ir, vadinasi, didina to vidurinio sluogsnio judėjimo momentą. Taip pat ir apatinio sluogsnio molekulos kartkartėmis patenka į vidurinį sluogsnį ir mažina to vidurinio sluogsnio judėjimo momentą. Taigi per 1 sekundą tam viduriniam sluogsniui ABCD bus suteiktas tam tikras priedinis judėjimo momentas, vadinasi, slenkant sluogsniams tangentiškai vienas kito atžvilgiu įvairiais greitumais, apsireikš tam tikra jėga, kuri yra ne kas kita, kaip vidujinio dujų trynimosi koeficientas (prašome atskleisti puslapį apie vidujinį skysčių trynimąsi ir prisiminti vidujinio trynimosi koeficiento definiciją). Pamėginsime apskaityti šitą priedinį judėjimo momentą, kitaip sakant, trynimosi koeficientą, išeidami iš kinetinės dujų koncepcijos. Kadangi mūsų paralelopipedo bazė yra lygi 1 kvadrat. cm., o atokumas tarp viršutinio ir vidurinio molekulų sluogsnių yra lygus l cm., tai tūris abcdABCD bus lygus l cm. Tegu kiekviename kūb. cm. randasi n molekulų, tad tam tūryje iš viso bus ln molekulų. Iš viršutinio sluogsnio patenka į vidurinį sluogsnį tiktai tos molekulos, kurios laksto kryptimi žemyn — augštyn. Vadinasi, kalbant apie priedinį judėjimo momentą,

kurį įgauna vidurinis sluogsnis iš viršutinio, teks skaitytis tik su $\frac{1}{3}$ visų molekulų, būtent, su ju skaičiumi $\frac{nl}{3}$. Jeigu molekula masės m turi greitumą c per sekundą, tai savo greitumo perteklių ji suteiks viduriniam sluogsniui $\frac{c}{2l}$ sykių per sekundą, nes nuo vieno susidūrimo iki kito su viduriniu sluogsniu tai pačiai molekulai reiks atlikti kelias 2l cm. Tegu gulsčiai slenkančių molekulų greitumas vidurinio sluogsnio bus v cm. per sekundą. Tad tas greitumas viršutiniam sluogsniui abcd bus v+l, o apatiniam sluogsniui $a_1b_1c_1d_1$ v—l. Taigi viršutinių molekulų sluogsnių suteiktas viduriniam judėjimo momentas bus $m\,(v+l).\frac{c}{2l}\cdot\frac{nl}{3}$, apatinių gi sluogsnių suteiktas tam pačiam viduriniam judėjimo momentas bus $-\,m\,(v-l)\,\frac{c}{2l}\cdot\frac{nl}{3}$. Taigi visas per sekundą suteiktas sluogsniui ABCD judėjimo momentas bus $m\,(v+l)\,\frac{c}{2l}\cdot\frac{nl}{3} - m\,(v-l)\,\frac{c}{2l}\cdot\frac{nl}{3} = \frac{nmcl}{3} = \eta$, jeigu mes vidujinio dujų trynimosi koeficientą pažymėsime raide η.

Kaip gi žiūrėti į kelią l, kurį atlieka molekulos tarp dviejų sluogsnių abcd ir ABCD, kurių greitumas skiriasi vienas nuo kito, kaip jau mes anksčiau pažymėjome, 1 cm.? Tokie du sluogsniai, kurių atokumas yra didesnis, kaip «laisvas molekulos kelias», nedalyvauja to priedinio judėjimo momento arba, kitaip sakant, to priedinio spaudimo sudaryme, kuris yra tikra vidujinio skysčio ir dujų trynimosi priežastis, slenkant tų skysčių ir dujų sluogsniams tangentiškai vienas kito atžvilgiu, nes tokiomis aplinkybėmis vieno sluogsnio molekulos negali pasiekti kito sluogsnio ir, vadinasi, negali suteikti tam kitam sluogsniui nei teigiamo, nei neigiamo priedinio spaudimo. Taigi išeina, kad to priedinio spaudimo sudaryme tedalyvauja tik tokie sluogsniai, kurie nuo vidurinio tarp jų sluogsnio randasi ne per didesnį atstuma, kaip «laisvas molekulos kelias». Vadinasi, į atokumą l, kinetinės teorijos atžvilgiu, reikia žiūrėti kaipo į «laisvą molekulos kelią» tarp dviejų tos molekulos susidūrimų su gretimomis molekulomis. Taigi lygtis $\frac{n\,m\,c\,l}{3} = \eta$ duoda mums galimumo apskaityti tą «laisvą molekulos kelią», jeigu mes žinome vidujinio dujų trynimosi koeficientą η, dujų tankumą d = nm (nes m yra vienos molekulos masė, o n molekulų skaičius 1 kūb. cm.) ir pagaliau vidutinį molekulų greitumą c. Įvairioms dujoms mums žinomi tie dydžiai ir, vadinasi, mes galime apskaityti laisvą jų molekulų kelią l. Paimsime, kaipo pavyzdį, orą. Oro vidujinio trynimosi koeficientas $\eta = 0{,}0002$ (vadinasi, priedinis spaudimas 0,0002 dinų), d = $^1/_{830}$ ir c = 50.000 cm. per sekundą. Taigi iš lygties $\frac{d\,c\,l}{3} = \eta$ išeina, $l = \frac{3\eta}{dc}$, arba $\frac{3.0{,}0002}{^1/_{830}.50000} = 0{,}00001$ cm. Vadinasi, laisvas oro molekulų kelias tarp dviejų susidūrimų sudaro tik apie vieną šimttūkstantąją centimetro dalį. Taigi pakol molekula nukaks 1 cm., ji susidurs su gretimomis molekulomis vidutiniškai apie šimtą tūkstančių sykių. Kadangi oro molekulos greitumas yra 50000 cm. per sekundą, tai per vieną sekundą kiekviena molekula vidutiniškai susidurs su gretimomis molekulomis $5 . 10^9$ sykių — 5 miliardus sykių. Tokiu būdu kinetinės teorijos atžvilgiu labai lėtas išsiskleidimas dujų molekulų erdvėje ir mažas jų difuzijos greitumas yra būtinybė, nežiūrint į tų molekulų didelį greitumą. Slenkant į priekį su dideliu greitumu, molekulai tenka daugybę sykių susidurti su gretimomis molekulomis, vadinasi, daugybę sykių tenka jai grįžti atgal netoli nuo savo pirmykštės padėties, taip kad pagaliau jos translacija, arba slinkimas priekin tiesia linija, išeina mažas dydis.

Savaime suprantama, kad tas «laisvas kelias» būtų užvis didžiausias tuo atveju, jeigu molekulos būtų paprasti geometriniai taškai, ir tada dujos visiškai laikytųsi Boyle-Mariotto dėsnio. Sumažinę atokumą tarp dviejų indo šonų, sakysime, 10 sykių, mes sumažintumėm tiek pat sykių molekulų laisvą kelią tarp dviejų susidūrimų, vadinasi, padidintume 10 sykių susidūrimų skaičių su indo šonais per sekundą ir, kaipo išvada, spaudimas dujų padidėtų 10 sykių. Bet tikrenybėje dujų molekulos turi nors ir mažą, bet šiokį tokį tūrį, kuris sudaro mažą dalį to indo tūrio, kuriame

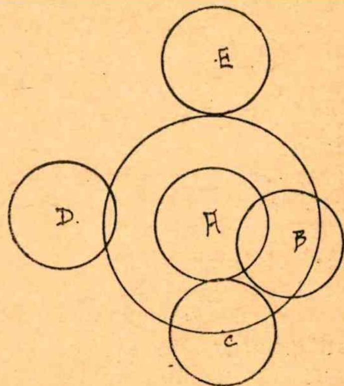
telpa molekulos. Pavadinsime šitą molekulų tūrį «savuoju molekulų tūriu». Taigi tikrenybėje spausdami dujas arba, kitaip sakant, mažindami atokumą tarp dviejų šonų (sakysime, indo viršaus ir dugno), tarp kurių klaidžioja molekulos, mes smarkiau sumažinsime laisvą molekulų kelią ir, vadinasi, padidinsime jų susidūrimų su šonais skaičių, ir jis bus didesnis negu tai būtų, jeigu molekulos būtų paprasti geometriniai taškai. Tegu, pavyzdžiui, atokumas tarp dviejų indo šonų bus 100 sykių didesnis už vienos molekulos skersmenį. Molekuloms susidūrus jų centrai rasis atstu vienas nuo kito per jų diametrų ilgį, nes mes anksčiau jau nusistatėm žiūrėti į molekulas kaipo į tobūlai elastingus kūnus ir, vadinasi, interpenetraciją (įsiskverbimas vienos į kitą) vienos molekulos į kitą eliminavome. Taigi tokiu atveju laisvas molekulų kelias bus sumažintas santyky $\frac{100}{99}$ ir, vadinasi, tokiu pat santykiu bus padidintas jų spaudimas. Jeigu mes dabar atstumą tarp dviejų indo šonų sumažinsime 10 sykių, tai laisvas molekulų kelias sumažės santykiu $\frac{100}{9}$, vadinasi, sumažės smarkiau kaip 10 sykių. Iš čia išeina, kad spaudimas į indo šonus padidės daugiau, kaip 10 sykių, būtent $\frac{100}{9}$ sykių. Vadinasi, sumažinus atstumą tarp dviejų šonų 10 sykių, spaudimas padidės 11 sykių, ir mes turėsime aiškų apsilenkimą su Boyle-Mariotto dėsniu. Aplamai, juo labiau bus suspaustos dujos, kitaip sakant, juo mažesnis bus jų tūris, būnant dideliems spaudimams — juo didesnis bus apsilenkimas su Boyle-Mariotto dėsniu. Mes jau anksčiau matėme, kad visos dujos, būnant dideliems spaudimams ir mažiems tūriams, apsilenkia su Boyle-Moriotto dėsniu viena prasme, būtent, norint sumažinti jų tūrį, sakysime, 2 arba 3 sykius ir t. t. reikia pavartoti spaudimas didesnis, kaip 2 arba 3 sykius. Taigi Boyle-Mariotto dėsnio lygtis reikalinga tam tikrų pataisų, kad ji atatiktų tikram konkrečių dujų elgesiui. Išeinant iš viršuj išdėstytų samprotavimų, didis Holandų fizikas Van der Waals'as rado, kad svarstant santykius tarp įvairių dujų tūrių ir spaudimo, reikalinga priimti domėn «savąjį dujų molekulų tūrį», atskaitant nuo viso tūrio v, kuriame randasi dujų molekulos, tam tikrą dydį arba konstantą b, kuri yra funkcija «savojo molekulų tūrio», taip kad Boyle-Mariotto lygtyje $pv = \text{const.}$ v pakeičiamas reiškiniu $v - b$, nes pavartojus labai didelius spaudimus dujos galima būtų suspausti tik iki tam tikro tūrio, kuris yra kartotinas «savojo tūrio», kurį užima inde pačios molekulos, taip kad jų laisvi keliai pareina nuo, taip sakant, laisvo tūrio, proporcingo $v - b$. Taigi aišku, kad dujų apsilenkimas su Boyle-Mariotto dėsniu šita prasme ima reikštis tik tada, kada pačių molekulų užimtas tūris darosi jau žymus dydis, palyginus su visu tūriu, kuriame randasi dujų molekulos. Bet Van der Waals'as atkreipė domę dar ir į kitą, dalyką, su kuriuo tenka skaitytis svarstant konkrečių dujų elgesį, būnant pusėtinai dideliems spaudimams. Mes jau augščiau priėmėme, kad kohezijos jėgos tarp dujų molekulų paprastai yra taip silpnos, jog su jomis galima visiškai nesiskaityti, bet augant spaudimui ir mažėjant tūriui, atokumai tarp molekulų darosi vis mažesni, ir kohezijos jėgos ima veikti.

Jos veikia juo smarkiau, juo arčiau molekulos randasi viena prie kitos, vadinasi, juo smarkiau dujos suspaustos. Remiantis savo ir kitų tyrinėtojų eksperimentais su įvairiomis dujomis, Van der Waals'as priėjo prie išvados, kad tos kohezijos jėgos yra tiesioginai proporcingos kvadratui koncentracijos (priminsime, kad koncentracija mes vadiname molekulų skaičių arba dujų kiekį tūrio vienete, sakysime, 1 kūb. cm.), kitaip kalbant, atvirkščiai proporcingos kvadratui viso tūrio, kurį užima dujos. Tegu tūrio vienetui tos kohezijos jėgos bus išreikštos konstanta a, tad tūrio v reiškinys $\frac{a}{v^2}$ išreikš kohezijos jėgų veikimą. Kaipgi šitos kohezijos jėgos atsiliepia susidūrimų su indo šonais skaičiui, vadinasi, spaudimui? Aišku, kad jos mažina dinaminį molekulų spaudimą į indo šonus ir veda prie didesnio tūrio sumažėjimo, negu turėtų būti, einant Boyle-Mariotto dėsniu. Taigi, kad Boyle-Mariotto lygtis atatiktų tikram konkrečių dujų elgesiui, būnant išoriniam matuojamam spaudimui p, rei-

kia dar pridėti priedinis spaudimas $\frac{a}{v^2}$ del priežasties kohezijos jėgų veikimo. Tuo būdu santyky tarp spaudimų ir tūrių konkrečioms dujoms mes prieiname prie Van der Waals'o lygties $(p + \frac{a}{v^2})(v - b) = const.$, kuri daug geriau negu Boyle-Mariotto lygtis atatinka tikram konkrečių dujų elgesiui ir, be to, dar gali būti pritaikinta svarstant santykius tarp spaudimų ir tūrių skysčiams. Trumpai kalbant, kada nedidelis dujų kiekis užima didelį tūrį, vadinasi, būnant mažiems spaudimams dujos seka Boyle-Mariotto dėsniu. Spaudimui augant ima veikti kohezijos jėgos, ir dujos spaudžiasi smarkiau, vadinasi, pv mažėja. O būnant labai dideliams spaudimams vis labiau įgyja reikšmės «savasai molekulų tūris», dujos spaudžiasi mažiau ir pv auga. Van der Waals'o lygtis turi labai platų ir reikšmingą pritaikinimą molekulinės fizikos srityje, ypač tyrinėjant dujų ir skysčių šilimos savybes, su kuo mes turėsime progos smulkiau susipažinti šilimos skyriuje. Čia tik pabrėšime dar, kad pakanka nustatyti tikrus santykius, sakysim, tarp spaudimų p_1 ir p_2 ir atatinkamų tiems spaudimams tūrių v_1 ir v_2, kad galima būtų apskaityti abidvi Van der Waals'o konstanti a ir b, žinant bendrą dujų konstantą, kuri, kaip mes pamatysime šilimos skyriuje, lengvai gali būti nustatyta, ir yra tam tikras kinetinės energijos kiekis, kuris bet kurių dujų gramo molekulai yra lygus 2T (T čia reiškia absolutinę dujų temperatūrą), nes tokiu būdu mes gausime dvi Van der Waals'o lygtis su dviem ieškiniais a ir b; iš tų lygčių ir apskaitysime tuos ieškinius. Iš lygties aišku, kad kohezijos jėgos ir «savasai malekulų tūris» priešingai atsiliepia dujų elgesiui didinant išorinį spaudimą.

Taigi konstantos a ir b šiandien nustatytos, galima sakyti, visoms dujoms ir daugeliui skysčių. Mus čia interesuoja konstanta b, kuri pareina nuo «savojo molekulų tūrio», kuri, teoretiniais Van der Waals'o apskaitymais augštosios matematikos pagalba, yra ne kas kita, kaip 4 sykius paimtas pačių molekulų užimtas tūris. Pavyzdžiui, orui konstanta b yra lygi $\frac{1}{400}$, vadinasi, oro molekulos pačios užima $\frac{1}{1600}$ dalį viso to tūrio, kuriame jos patalpintos.

Išeinant iš šitos konstantos b ir iš dujų molekulų susidūrimų skaičiaus, per 1 sekundą galima apskaityti molekulų skersmuo ir, vadinasi, jų skaičius tūrio vienete, sakysime, 1 kūb. cm. Įsivaizduokim sau molekulą A rutulio pavidalo, skersmens 2 r (97 pieš.). Aprašysim dabar iš molekulos centro A spinduliu 2r sferą (rutulį). Aišku, kad molekulai A slenkant ji susidurs tik su tomis molekulomis, kurių centrai randasi arba sferos spindulio 2r vidury arba ant tos sferos paviršiaus, ir nebepalies tų molekulų, kurių centrai randasi iš oro sferos spindulio 2r. Taigi per 1 sekundą molekula A nukeliaus kelią c (molekulos greitumas). Vadinasi, visų molekulų centrai, su kuriomis ji keliaudama susidurs, rasis ant cilinderio paviršiaus arba cilinderio vidury, kurio tūris bus $\pi (2r)^2 c$ kūb. cm. $= 4 \pi r^2 c$ kūb. cm. Kadangi mes priėmėme, kad 1 kūb. cm. randasi n molekulų, tad šitam cilindery (ar jis bus tiesus, ar jis bus zigzagais sulankstytas — tas nesvarbu, nes tūris nuo to nepareina), mes turėsime iš viso $4 \pi r^2 . c\, n$ molekulų, su kuriomis mūsų molekula A per sekundą susidurs; πr^2 yra vienos molekulos skerskrodžio (skersinio pjūvio) plotas. Pažymėsime jį raide q. Tad susidūrimų skaičius per sekundą bus $4qn. c = 5.10^9$. Iš čia $qn = \frac{5.10^9}{4c}$ arba orui lygus $\frac{5.10^9}{4.5.10^4} = 25000$ kvadrat. cm. (nes oro dalelių greitumas $c = 50000$ cm.); qn yra ne kas kita, kaip visų molekulų, patalpintų 1 kūb. cm., skerskrodžio plotas. Vadinasi, sudėję visas 1 kūb. cm. molekulas vienoje plokštėje, mes gautumėm paklodę 2,5 kv. metrų ploto ir kuri svertų tik apie $1^1/_4$ miligramo.



Pieš. 97

Išeinant iš skerskrodžio ploto visų molekulų, kurios randasi 1 kūb. cm., ir imant domėn, kad, pasak Van der Waals'o, pačių oro melekulų tūris sudaro $\frac{1}{1600}$ dalį viso to tūrio, kuriame randasi molekulos, galima apskaityti molekulų skersmuo. Sudėkime paklodę, kurios paviršius 25000 kv. cm. yra lygus visų molekulų 1 kūb. cm. skerskrodžio plotui taip, kad ji tilptų 1 kv. cm. plote, kitaip sakant, patalpinkime 1 kūb. cm. visas molekulas suglausdami jas kuo glaudžiau 1 kv. cm. plote. Tad aišku, kad mes turėsime 25000 sluogsnių molekulų, ir kadangi visų tų molekulų tūris yra $\frac{1}{1600}$ kūb. cm., tai 25000 molekulų sluogsnių storumas bus $\frac{1}{1600}$ cm. Iš čia išeina, kad 1 tokių molekulų sluogsnio storumas arba molekulos skersmuo bus lygus $\frac{1}{1600}: 25000 = \frac{1}{4.10^7} = \frac{1}{4} . 10^{-7}$ centimetrų. Vadinasi, oro molekulų diametras bus maždaug viena keturiasdešimt milionoji dalis centimetro. Taigi 1 centimetre mes galime patalpinti 40 milionų molekulų. Tai gausime molekulų šniūrą, kurio storumas ir platumas yra lygus $\frac{1}{4} . 10^{-7}$ cm. Dabar glaudžiant vieną šniūrą prie kito, taip sakant, apkloti jais plotą 1 kv. cm. reikės iš viso $4.10^7 \times 4.10^7 = 16.10^{14}$ molekulų, kitaip sakant, tūkstantis šeši šimtai bilionų molekulų. Vadinasi, tokio skaičiaus molekulų skerskrodžio plotas bus lygus tik 1 kv. cm. Bet, kaip jau mes apskaitėme, visų 1 kūb. cm. molekulų skerskrodžio plotas yra lygus 25000 kv. cm. Taigi skaičius molekulų 1 kūb. cm. bus lygus $16.10^{14} \times 25000 = 4.10^{19}$ (Loschmidt'o skaičius) molekulų, vadinasi, keturiasdešimt trilionų molekulų. Jeigu visus suaugusius žemės gyventojus ir vaikus, kurie jau gali skaityti, vadinasi, 1 miliardą asmenų pristatyti prie darbo skaityti oro molekulas, kurios randasi vienam erdvės kūbiniam centimetre, jeigu kiekvienas iš tų asmenų per minutę galėtų suskaityti 100 molekulų, tai dirbant dieną ir naktį be poilsio ir be jokios atvangos tektų skaityti 100 metų. Taigi suprantamas daiktas, kad kiekvienas žmogus, kuris yra įpratęs žiūrėti į orą ir į kitas dujas, kaipo į ramų gaivalą, ima abejoti tais, iš vienos pusės, labai dideliais skaičiais, iš kitos — labai mažais, ir tuo pašėlusiu judėjimo stoviu, kurį priskiria kinetinė teorija dujų molekuloms. Taigi mes ir netvirtiname čia kategoriškai, kad oro ir dujų struktūra ir stovis yra toksai, kaip čia aprašyta, nes pamatyti savo akimis arba išmatuoti tiesioginai molekulų greitumus, jų atokumus viena nuo kitos ir jų diametrus šiandien negalimas daiktas. Bet mes turime čia pabrėžti, kad išeinant iš viršuj nupiešto oro ir dujų vaizdo, mes puikiai orientuojamės ne tik dujų srityje, bet ir skysčių srityje, ypač priėmus domėn Van der Waals'o nustatytas konstantas ir atatinkamai pakeitus lygtį, kuri nustato santykius tarp dujų ir skysčių spaudimo ir jų tūrio. Vienu žodžiu, visos išvados, kurios išvedamos dujų ir skysčių elgesio atžvilgiu, išeinant iš kinetinės teorijos eksperimentų, gali būt patvirtintos ir todel atatinka tikrenybei. Taigi nupieštas čia dinaminis dujų stovis (būvis) rodo į tokį dujų elgesį, koksai tikrenybėje konstatuojamas nagrinėjant realias dujas.

Be to, reikia pasakyti, kad dar 1827 metais Anglų botanikas Brown'as pastebėjo, kad labai mažos kietos dalelės, kurias galima matyti tiktai didelio padidinimo mikroskopo pagalba, įmerktos į emulsiją randasi intensyvaus judėjimo stovy, kuris visais atžvilgiais yra panašus į molekulų judėjimą, kaip jį traktuoja kinetinė teorija, išskyrus greitumą, kuris tų Brown'o dalelių, kaipo turinčių žymiai didesnę masę negu molekulos, yra žymiai mažesnės. Šitie «Brown'o judėjimai» tapo paskiau specialinių tyrinėjimų objektu. Profesorius Perrin, išeidamas iš to, kad žiūrėdąmi iš tolo ir nematydami jūros bangų, mes visgi galime spręsti apie tai, ar jūra banguoja ar ne iš garlaivio judėjimo, pagaminęs iš kaučiuko arba mastikos tirpinio labai mažus rutuliukus apie vieną dvi tūkstantąją dalį milimetro, maišydavo miltelius iš tokių rutuliukų su įvairiomis emulsijomis ir, paėmęs vieną kitą lašą tokių emulsijų ant mikroskopo objekto stiklo, būnant dideliems padidinimams, aiškių aiškiausiai galėjo sekti judėjimus minėtų rutuliukų, stumdomų emulsijos molekulų judėjimų, nelyginant kaip garlaivis stumdomas jūros bangų. Galima tokius «Brown'o molekulinius judėjimus» demonstruoti net didelei žmonių auditorijai proekcijos aparato pagalba, atmetus tuos

judėjimus ant ekrano. Pasirūpinus, kad paimti skystimai negaruotų, pašalinus jų kontaktą su oru, tokie judėjimai tęsiasi ištisomis savaitėmis ir, vadinasi, ramiai, nesiskubinant galima išmatuoti tų rutuliukų greitumas, jų laisvas kelias, jų kinetinė energija ir t. t. Tiesioginiai prof. Perrin'o matavimai puikiausiai sutinka su jo padarytais apskaitymais išeinant iš kinetinės teorijos postulatų. Skirtumas tik tas, kad jo rutuliukų diametras apie 2000 sykių didesnis negu oro molekulų diametras, lygiai kaip ir masė yra žymiai didesnė, kaip oro molekulų masė. Visais gi kitais atžvilgiais konstatuojama pilna analogija tarp dujų molekulų ir Perrin'o rutuliukų. Vadinasi, dujų stovio vaizdas, kinetinės teorijos atvaizduotas, nėra jau toks negalimas dalykas.



Uždaviniai iš Hidrodinamikos ir Aerodinamikos.

1, Koksai įtempimas reikalingas tam, kad padarytų vielą ilgesnę 1%, jeigu tos vielos Young'o modulis E?

Atsak. $\frac{1}{100}$ E.

2. Geležies Young'o modulis yra lygus vienam milionui atmosferų. Kokį svorį reikia uždėti ant vertikaliai pastatyto geležies stiebo, kurio skerskrodžio plotas yra lygus 1 kvadr. coliui, kad tas stiebas sutrumpėtų viena tūkstantąja savo ilgio dalimi?

Atsak. 6,5 tonų,

3. Jūros vandens tūrio elastingumas yra lygus 20,000 atmosferų. Kaip suspaustas vanduo 1554,5 mtr. gilumoje.

Atsak. 0,0075.

4. Koks spaudimas į dugną ir į šonus pripildyto gyvuoju sidabru kūbinio indo, kurio briauna yra lygi 10 cm.?

Atsak. 13600 gr. į dugną ir 6800 gr. į kiekvieną šoną.

5. Jeigu tas pats indas bus perpus pripildytas gyvuoju sidabru ir perpus vandeniu, tai koks bus tada spaudimas į jo šonus?

Atsak. 2075 gr.

6. Du pusrutuliai 1 metro radiuso sujungti hermetiškai ir panerti vandeny taip, kad sujungimo plokštė užima statinę (vertikalinę) padėtį ir jos viršūnė randasi po pat vandens paviršiumi. Kokia jėga tie pusrutuliai suspausti?

Atsak. 11 tonų.

7. Hidraulinio preso siurblio stumiklis turi cilinderio pavidalą 1 cm. diametro ir veikiant pasistumia žemyn 7 cm. O preso stumiklis turi diametrą 20 cm. Imant domėn, kad apykaklės trynimas abiems stumikliams sudaro $\frac{1}{4}$ svorio ant jų, apskaityti:

1) preso spaudimas, kada siurblio stumiklį veikia jėga, lygi 1 centneriui;
2) preso stumiklio jėga;
3) svyravimų skaičius, kuriuos turi atlikti siurblis preso stumikliui augštyn pakelti 10 cm.

Atsak. 1) $\frac{336}{11}$; 2) $11\frac{1}{4}$ tonos; 3) $\frac{10}{7}$ $(20)^2$.

8. Kietas kūnas sveria tuštumoje 35 gr., o vandeny tik 5 gr. Panertas gi kitam skystime kūnas sveria 14 gr. Surasti to skystimo lyginamasai svoris?

Atsak. 0,7.

9. Paprasto hidrometro arba areometro stiebas padalytas į 100 lygių dalių. Kada jis pasineria ligi nulinio padalijimo, tai jo išpūstos dalies ir kitų pasinėrusių dalių tūris yra 3 syk didesnis už stiebo tūrį. Vandeny jis pasineria ligi 20 padalijimo. Koks bus lyginamasai svoris dviejų skystimu, kuriuose jis pasineria ligi padalijimų 80 ir 0?

Atsak. 0,8421; 1,06.

10. Ligi kurio padalijimo pasiners tas areometras tokiam skystime, kurio lyginamasai svoris yra lygus 0,8?

Atsak. Ligi padalijimo 100.

11. Plaukiojantis kūnas vandeny išsikiša $\frac{1}{5}$ savo tūrio dalimi iš vandens, o įleistas į kitą skystimą tas pats kūnas išsikiša $\frac{1}{3}$ savo kūno dalimi. Koksai to skystimo lyginamasai svoris?

Atsak. 1,2.

12. Nicholsono hidrometras pasineria vandeny iki bruožo, arba ženklo, uždėjus 20 gr. ant jo viršutinės lėkštės. Padėjus gi svarelius ant apatinčs lėkštės vandeny reikia ant viršutinės lėkštės uždėti dar 5 gramus, kad hidrometras pasinertų iki bruožo, arba ženklo. Koksai lyginamasai svoris metalo, iš kurio pagaminti svareliai?

Atsak. 5.

13. Kūnas a, kuris sveria 3 gr., pririštas prie kito kūno b, kuris sveria 6 gr. Panerti vandeny abudu kūnai sveria 4 gr. Kokie lyginamieji svoriai kūnų a ir b?

Atsak. 0,6 ir 3.

14. Vienodo skerskrodžio ploto laibas medžio stiebas paremtas vienu savo galu augščiau tvenkinio paviršiaus, o kitas jo galas randasi vandeny. Nustatyti to stiebo pusiausvyros padėtį, žinant medžio lyginamąjį svorį. Be to, apsvarstyti stiebo padėties atmainas, kįlant augštyn vandens paviršiui tvenkiny ir net pakilus augščiau stiebo paramos.

Atsak. Stiebas pasinėręs $\frac{1}{n}$ savo dalimi, taip kad $n + \frac{1}{n} = \frac{2}{s}$. Čia s reiškia medžio lyginamąjį svorį. Kada vanduo randasi augščiau paramos, tad n^2s=vienetui. Visais kitais atvejais stiebas užima vertikalinę padėtį.

15. Tuščias piknometras sveria 15 gr. Pripildytas gyvuoju sidabru jis sveria 151 gr., o pripildytas kai kuriuo skystimu jis sveria 33 gr. Koksai to skystimo lyginamasai svoris?

Atsak. 1,8.

16. Tas pats piknometras, įbėrus į jį smėlio, o likusią jo dalį užpildžius vandeniu, sveria 30,5 gr. Koksai smėlio lyginamasai svoris?

Atsak. 3,2.

17. Kamščio gabaliukas sveria 10 gr. Primušus prie jo geležies gabaliuką ir panėrus abudu vandeny, jie sveria kartu 20 gr. Geležies gabaliukas vandeny sveria 70 gr. Surasti kamščio lyginamasai svoris.

Atsak. 0,167.

18. Geležies gabaliukas, kuris sveria 84 gr., įdėtas į taurę, kuri pripilta vandens iki tam tikro ruožo augščiau geležies paviršiaus. Visa tai sveria 128 gr. Išėmus geležį ir pripildžius taurę vandeniu vėl iki to paties ruožo, taurė su vandeniu sveria 46 gr. Surasti geležies gabaliuko lyginamasai svoris ir kiek tas gabaliukas sveria vandeny?

Atsak. 7; 72.

19. Patalpinus svarstykles vandeny ir ant vienos jų lėkštės uždėjus kai kurią masę geležies rūdžių, ją galima atsverti 3 kilogr. švino, uždėto ant kitos svarstyklių lėkštės. Kokia geležies rūdžių masė, jeigu tų rūdžių lyginamasis sveris 7, o švino—11?

Atsak. 3,18.

20. Surasti medžio gabaliuko tankumas einant šiais daviniais: medis sveria 230 gr., geležies gabaliukas vandeny sveria 580 gr., medis ir geležis drauge vandeny sveria 465 gr.

Atsak. $\frac{2}{3}$.

21. Surasti cukraus lyginamasai svoris einant šiais daviniais: spiritas, kuris užpildo piknometrą iki ruožų, sveria 50 gr., spirito lyginamasai svoris 0,8; įmetus gi į piknometrą 20 gr. cukraus ir užpildžius likusią piknometro dalį spiritu iki ruožų, jie abudu tada sveria 60 gr.

Atsak. 1,6.

22. Medinis kūbas, kurio briaunos yra lygios 8 coliams, plaukioja vandeny taip, kad keturios jo briaunos yra statinėj (vertikalinėj) padėty ir 1 coliu išsikiša iš vandens. Surasti medžio lyginamasai svoris.

Atsak. $\frac{7}{8}$.

23. Duotas toksai cukraus ir vandens skiedinys, kurio lyginamasai svoris yra lygus 1,2. Surasti cukraus ir vandens nuošimčius tame skiediny svorio atžvilgiu, imant domėn, kad cukraus lyginamasai svoris yra lygus 1,5 ir kad susidarant skiediniui neturi vietos tūrio pasikeitimas.

Atsak. Po 50%.

24. Jeigu lygūs cukraus ir vandens svoriai sudaro skiedinį 1,4 tankumo, tai koks čia tūrio susitraukimas?

Atsak. Santyky 7 : 6.

25. Surasti metalinės vielos storumas, kurios gabaliukas 3 mtr. ilgio sveria 0,24 gr. ore ir 0,21 gr. vandeny. Be to, surasti, kiek sveria vienas to metalo kūbinis centimetras?

Atsak. 0,113 mm; 8 gr.

26. Piknometras, pripiltas vandens iki ruožo, sveria 410 gr. Įmetus į jį 80 gr. bet kurio kieto kūno ir užpildžius likusią jo dalį iki ruožo vandeniu, jis sveria 470 gr. Kokį tūrį užima vienas to kieto kūno kilogramas?

Atsak. 250 kūb. centimetrų.

27. Kietas kūnas sveria 117 gr. ore, 98 gr. vandeny ir 101 gr. kai kuriam skystime. Apskaityti kieto kūno ir to skystimo lyginamieji svoriai.

Atsak. $6\,{}^{3}/_{19}$ ir $\frac{16}{19}$.

28. Nepermatomo parafino gabalo vidury randasi stiklo rutuliukas. Jie abudu sveria ore 50 gr. ir 20 gr. vandeny. Koksai stiklo rutuliuko tūris, imant domėn, kad stiklo lyginamasai svoris 2,5, o parafino 0,9.

Atsak. $14\frac{3}{8}$ kūb. cm.; rutuliuko diametras 3,02.

29. Kiek turi sidabro «aukso» vainikas, kuris sveria ore 985 gr. ir šaltam vandeny 918 gr., imant domėn, kad auksas sunkesnis už vandenį 19 sykių, o sidabras 8 sykius?

Atsak. $209\frac{5}{11}$ gr.

30. Koksai gyvojo sidabro barometro augštis, kada atmosferos spaudimas yra lygus vienam milionui dinų vienam kv. cm.?

Atsak. 75 cm.

31. Gyvojo sidabro barometras nupuolė 1 coliu. Kiek nupuls vandens barometras?

Atsak. 13,6 colio.

32. Parodyti, kad gyvojo sidabro menisko judėjimas barometre gali būti padidintas 2 sykiu, palenkus viršutinę vamzdžio dalį kampu 30^0 akiračio atžvilgiu.

33. Vadinamoje barometro Torricelli tuštumoje randasi truputys oro. Kada gyvasai sidabras vamzdyje stovi 70 cm. augščiau negu gyvasis sidabras cisternoje (arba puodelyje), tai Torricelli tuštuma užima 20 kūb. cm. tūrį. Žeminant vamzdį (leidžiant jį giliau į cisterną) patol, pakol gyvasai sidabras vamzdyje bus 67 cm. augščiau gyvojo sidabro cisternoje, Torricelli tuštuma susitraukia iki 12,5 kūb. cm. Remiantis šitais daviniais surasti tikrasai barometro augštis.

Atsak. 75 cm.

34. Keturkampė kamščio masė, kurios didumas yra lygus $10 \times 8 \times 5$ cm., galima atsverti ore 80 gramų platinos. Surasti kamščio masė nežiūrint į platinos svorio ore sumažėjimą.

Atsak. 80,517 gr.

35. Metalo gabaliukas sveria 2,4 gr. gyvajam sidabre ir 9 gr. vandeny. Kiek jis sveria tuštumoje?

Atsak. 9,523 gr.

36. Surasti didžiausį augštį, iki kurio gali būti pakeltas aliejus paprasto siurblio pagalba, kai atmosferos spaudimas vienas milionas dinų į kv. cm., ir imant domėn, kad aliejaus lyginamasai svoris 0,9.

Atsak. 11,3 mtr.

37. Barometras povandeniniam varpe rodo spaudimą, lygų gyvojo sidadro stulpui 45 colių. Ant vandens paviršiaus barometro parodymas yra lygus 30 colių. Kokioj gilumoj randasi povandeninis varpas?

Atsak. 17 pėdų.

38. Sifoninis barometras, kurio Torricelli tuštumoje randasi truputys oro, rodo 72 cm. spaudimą. Pilant gyvąjį sidabrą į atdarą barometro šaką patol, pakol barometro tuštuma nesusitrauks iki pusės savo pirmykščio tūrio, skirtumas gyvojo sidabro augščių abiejose šakose darosi lygus 70 cm. Remiantis šitais daviniais apskaityti tikras barometro parodymas.

Atsak. 74 cm.

39. Oro siurblio cilinderio (aulo) tūris sudaro 10 dalį recipiento tūrio. Surasti oro spaudimas recipiente, atlikus siurbliui vieną ir du svyravimus, jeigu pirmykštis spaudimas buvo lygus 77 cm.

Atsak. 70 cm.; 63,63.

40. Suspaudus orą uždarytame vamzdyje iki $\frac{1}{100}$ dalies tūrio, kurį jis užėmė rodant barometrui 30 colių spaudimą, kokį spaudimą rodo tas oras ir kokioj gilumoj vandeny galima tas spaudimas pasiekti?

Atsak. 0,652 tonų į kv. colį; gilumoje 3366 pėdų.

41. Y—vamzdis savo šakomis įkištas į įvairius skystimus. Čiulpiant orą per stiebą skystimas vienoje šakoja pakįla iki 17 cm. augščio, o kitoje šakoje iki 15 cm. augščio. Kaip santykiuoja tų skystimų lyginamieji svoriai?

Atsak, 15 : 17.

42. Dujų masė, būnant nuolatinei temperatūrai, užima 10 kūb. pėdų tūrį spaudžiant 20 colių gyvojo sidabro. Surasti spaudimas, kuriam esant dujų tūris sumažės iki 3 kūb. pėdų.

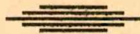
Atsak. $66\frac{2}{3}$ colių gyvojo sidabro.

43. Kompresoriaus (jėgos siurblio) cilinderio ilgis yra lygus 6 coliams, o skerskrodžio plotas 1 kv. coliui. Koksai bus oro spaudimas recipiente, padarius cilinderio stumikliui 100 svyravimų ir imant domėn, kad recipiento arba rezervuarc tūris, kuriame spaudžiamas oras, yra lygus 1 kūb. pėdai?

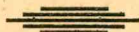
Atsak. $1\frac{25}{72}$ atmosferų.

44. Uždaras iš vieno galo cilindrinis indas 20 cm. augščio atdaruoju galu leidžiamas į gyvąjį sidabrą, pakol gyvojo sidabro paviršius jame bus 5 cm. žemiau už gyvojo sidabro paviršių iš oro. Barometras rodo 75 cm. Remiantis šitais daviniais apskaityti, kokį augštį pasiekia gyvasai sidabras cilindriniame inde ir kaip giliai cilinderio krantai įleisti į gyvąjį sidabrą?

Atsak. Gyvojo sidabro pakilimas $1\frac{1}{4}$ cm.; cilinderio krantų panėrimo gilumas $6\ ^1/_4$ cm.



Turinys.



Pastebėtų klaidų atitaisymas.

Pusl.	Eil.		Atspausdinta:	Turi būti:
10	16	iš virš.	suspusta	suspausta
»	29	» »	q^2	q_2
14	7	iš ap.	aramą	paramą
»	2	» »	statine	statinia
»	1	» »	pirimas	pirmas
16	4	» »	sudaryti	suardyti
18	20	iš virš.	b . q . d	h . q . d
22	9	» »	Ξνϱηκα	Ενϱηκα
23	1	iš ap.	užpėsime	uždėsime
25	1	» »	įleistu	įbrėžtu
32	7	iš virš	h	h_1
»	8	» »	stacijoninis	statinis
»	12	» »	atokumas	atokumai
»	17	» »	spaudimas	spaudimo puolimas
33			Pieš. 13	Pieš. 31
34	13	iš ap.	hidrostatinio	hidrodinaminio
35	10-11	iš virš.	kvadratinės šaknys iš	
42	19	» »	jėgas	jėgomis
45	2	» »	16×16^{-6}	16×10^{-6}
»	12	» »	spindulio	spinduliu
54	13	iš ap.	izinių	fizinių
55	4	iš virš.	oloidinis	koloidinis
57	15	» »	1293	1,293
»		59 pieš.	atspausdintas atvirkščias	
62	1	iš virš.	eant mosferos	esant atmosferos
65	4	» »	oro	
73	74 pieš.	aparato bonką žemai reikia pažymėti raide R, išpūstą aparato dalį raide V, gulsčią vamzdį raide P ir jungiamąjį vamzdį raide G		
73	9	iš ap.	inde	inde V
74	7	» »	R (a pieš.),	r (a, b pieš.),
76	2	iš virš.	kurie turi svirtis	su svirtimi
»	77 pieš.	apačioj turi būti raidė A, o prie cilinderio raidė B.		
»	78 pieš.	piešiniai reikia iš eilės pažymėti 1, 2, 3, be to, 1 pieš apačioj turi būti raidė A, o viršuj B		
79	17	iš virš.	vandeniu,	vandeniu, atėmus uždangą,
84	8	» »	kūno su jo tūriu	aerostato su jo turiniu
»	19	» »	$(5)_3$	$(5)^3$
86	visur		$P\alpha$	P_α
88	1	iš virš.	vonią	tynę
96	94 pieš.	raidės z, d, x, pakeisti iš eilės raidėmis Z, B, X, be to, trikampio o_1 d y viršūnę pažymėti raide A.		